

Das Klima von Graubünden

Ein Beitrag zur Regionalklimatologie der Schweiz

**HABILITATIONSSCHRIFT
zur Erlangung der *venia legendi***

**vorgelegt 1978 der
Philosophischen Fakultät II der Universität Zürich**

**von
GIAN ALFRED GENSLER
von Samedan / GR**

1979



Diese Schrift ist als Arbeitsbericht Nr.77 der Schweiz.
Meteorologischen Zentralanstalt, 8044 Zürich, erschienen

Nr. 77

DAS KLIMA VON GRAUBUENDEN

(Ein Beitrag zur Regionalklimatologie der Schweiz)

von

Gian A. Gensler, Zürich

Februar 1978

Klimatologie

551.582(494.26)

Zusammenfassung

Durch seine Lage rittlings der östlichen Zentralalpen nimmt Graubünden an drei Regionalklimaten teil: am nordalpinen, am inneralpinen und am süd-alpinen Typ.

Anhand der Analyse einzelner Klimaelemente und einem Ausblick in die synoptische Klimatologie (Witterungslagen) wird trotz der topographischen Mannigfaltigkeit des Kantons klimatologisch eine Zweiteilung begründet. Der Nord- und Mittelteil, d.h. Rheinbünden, unterliegt mehrheitlich dem Nordalpenwetter mit West- und Nordstaulagen. Der Südteil, mit dem Engadin und den Südtälern, nimmt stärker an den Südstauvorgängen teil.

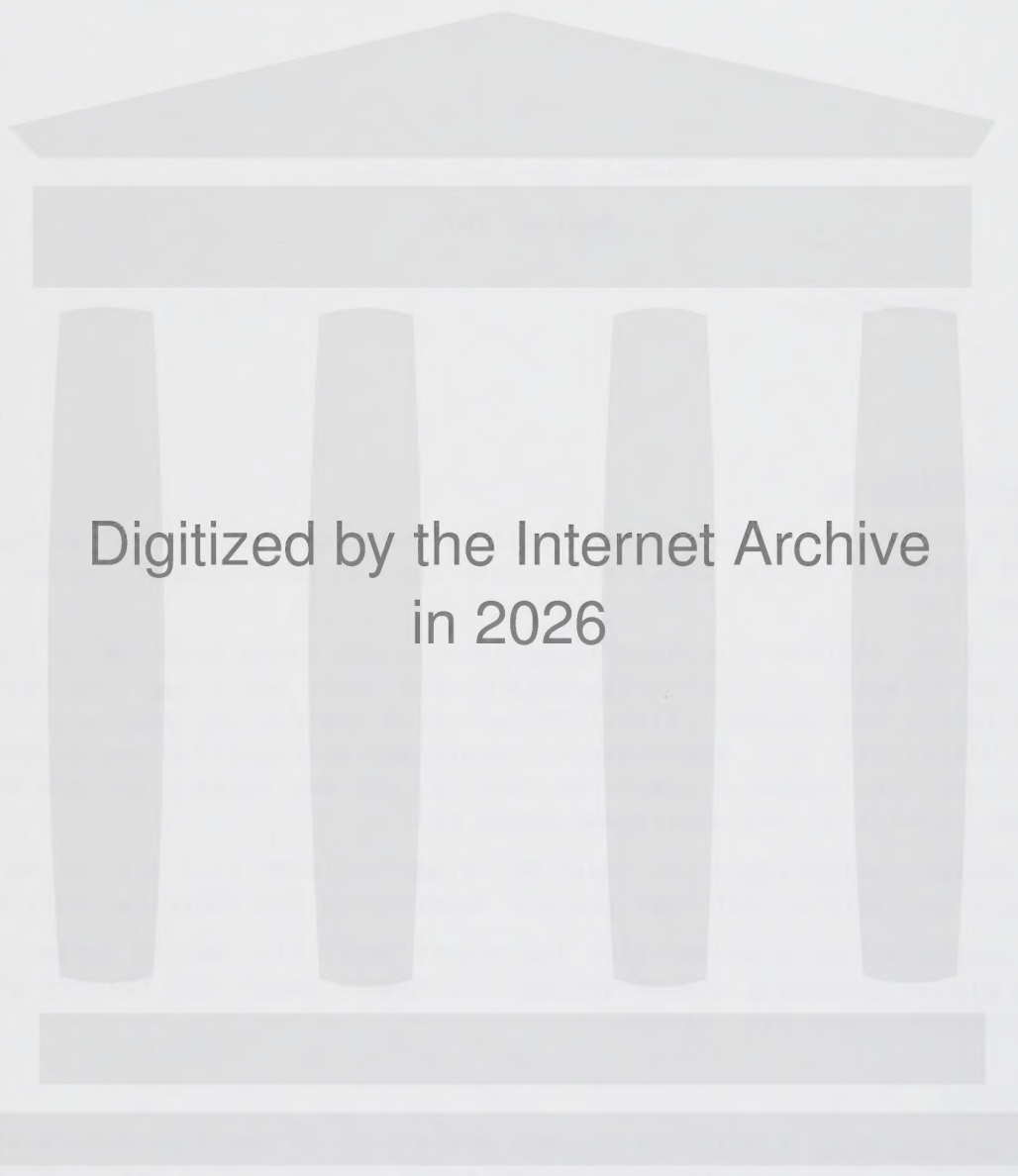
Da Schlechtwetterlagen von Süden her etwas seltener sind als solche aus Westen und Norden, ist eine gewisse Bevorzugung des Südteils feststellbar.

Im Jahresverlauf erweisen sich die Monate April bis Juni im ganzen Kanton als die wettermässig ungünstigsten, die Monate August bis Oktober als die vorteilhaftesten des Jahres.

Reassunt

Cun sia pusiziun a sella da la vart ortientela da las Alps centrelas piglia il Grischun part a trais differentas zonas climaticas: a quella da las spuondas vers nord, vi da las parts internas e vi da la zona meridiunela da las Alps.

Melgrô sia topografia multifuorma pussibilitescha üna analisa dals elemaints climatics, sustgnida da stüdis davart differents tips d'ora, ün scumpart da nos Chantun in duos secziuns climaticas principelas. Il cuntegn dal Rain, suottamiss al regimaint da las oras instablas no dal vest e dal nord, es la part settentriunela e centrela. La segunda part es la meridiunela cun l'Engiadina e las vals vers süd, pü exposta a la trid'ora cul vent no dal süd.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41507210_0100

Tgnand quint dal fat cha la trid'ora as fo valair pü suvenz no dal vest e dal nord, ans permetta da der üna cherta preferenza climatologica a la part meridiunela dal Grischun.

L'andamaint annuel da las cundiziuns atomsfericas muossa scu perioda la pü critica per tout il Chantun quella traunter ils mais avrigl e gün, percenter es la sprauza sün bell'ora discretamaing motivateda per la perioda traunter avuost ed october.

Résumé

De par sa position à cheval sur les Alpes orientales, le Canton des Grisons se rattache à trois régions climatologiques distinctes. Ces trois types sont: celui du nord des Alpes, celui du sud des Alpes et celui de vallées entourées de hautes chaînes de montagne.

En se basant sur l'analyse de paramètres isolés et sur une incursion dans le domaine de la climatologie synoptique (types de temps), l'auteur justifie une subdivision climatologique du Canton en deux parties seulement et cela malgré sa diversité topographique. Il s'agit de:

Le nord et le centre du Canton ainsi que les vallées tributaires du Rhin dont les conditions météorologiques se rapprochent de celles du nord des Alpes, c'est à dire de nombreuses situations de barrages du nord et de l'ouest;

l'Engadine, le Val Bregaglia et les vallées tournées vers le sud ressentent surtout les effets des barrages du sud.

Vu que les situations météorologiques provoquant des vents du nord ou de l'ouest, c'est à dire un temps maussade, sont plus fréquentes, la partie sud du Canton est avantagée.

Au cours de l'année, ce sont les mois d'avril à juin qui présentent le temps le moins favorable et cela dans tout le Canton. Les mois d'août à octobre sont par contre les plus favorables.

Riassunto

Data la sua posizione a cavallo delle Alpi centro-orientali, il Grigioni partecipa a 3 tipi di clima: quello nordalpino, quello sudalpino e il clima delle vallate circondate da alte montagne.

In base all'analisi dei singoli elementi climatici e ad un'incursione nella climatologia sinottica (situazioni meteorologiche) e malgrado la diversità della topografia del Cantone, si giustifica una suddivisione in due parti:

La parte settentrionale e centrale e le vallate del Reno hanno in prevalenza condizioni meteorologiche simili a quelle del nord delle Alpi, con le situazioni di sbarramento dall'ovest e dal nord; la parte meridionale, l'Engadina e le valli aperte verso sud partecipano specialmente agli effetti di sbarramento da sud.

Siccome le situazioni di brutto tempo da sud sono un po' meno frequenti di quelle da ovest e da nord, la parte meridionale del Cantone risulta avvantaggiata.

Nel corso dell'anno i mesi da aprile a giugno risultano, dal punto di vista meteorologico, come i meno favoriti; mentre i mesi da agosto ad ottobre hanno le migliori condizioni meteorologiche dell'anno.

Summary

Grisons's position astride of the eastern part of the central Alps implicates three different climatic regimes, that one of the northern slopes, the inner parts and the southern slopes of the Alps.

An analytic treatment of the usual climatic elements, supported by synoptic studies on weather types, allows, inspite of its multiform topography, a subdivision of this canton in two main climatic regions. The northern and medium part, that is the Rhine drainage area, is mainly influenced by unsettled weather, reaching the Alps from the west and the north. The southern part, with the Engadine an the valleys directed to the south, is more exposed to winds from the south subjected to convergence effects along the southern slopes of the alpine chain.

Considering the somewhat lower frequency of bad weather associated with southerly winds, the southern districts appear to be privileged.

The season between April and June shows troughout Grisons prevailing unstable weather, whereas the period between August and October gives the largest expectation of advantageous conditions of the whole year.

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. <u>EINFUEHRUNG</u>	1
1.1 Geographische Beschreibung	1
1.2 Beobachtungsunterlagen	2
2. <u>DIE BESONNUNG</u>	4
2.1 Der Jahresgang der Sonnenscheindauer	4
2.2 Der Tagesgang der Sonnenscheindauer	8
2.3 Sonnige und sonnenlose Tage	8
2.4 Der säkuläre Gang der Sonnenscheindauer	9
3. <u>DIE TEMPERATURVERHAELTNISSE</u>	10
3.1 Der Jahresgang der Lufttemperatur	10
3.2 Beurteilung der Temperaturstatistik	11
3.3 Die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe	12
3.4 Unterschiede der freien zur Gebirgsatmosphäre	14
3.5 Thermische Merkmale der Gebirgsatmosphäre	15
3.6 Der Schwankungsbereich der Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittel	16
3.7 Der Schwankungsbereich der Tagesmittel	17
3.8 Die interdiurne Veränderlichkeit der Temperatur	17
3.9 Die täglichen Extremwerte der Temperatur	18
3.10 Beispiele von Inversionslagen im Oberengadin und Bündner Rheintal	19
3.11 Extremtemperaturen	23
3.12 Eis-, Frost-, Sommer- und Hitzetage	24
3.13 Technische Wärmedaten	25
4. <u>DIE LUFTFEUCHTIGKEIT</u>	27
4.1 Die relative Feuchtigkeit	27
4.2 Die absolute Feuchtigkeit	28
5. <u>DIE BEWOELKUNG</u>	30
5.1 Der Jahresgang des Bedeckungsgrades	30
5.2 Heitere und trübe Tage	31
5.3 Bewölkung und relative Sonnenscheindauer	32
5.4 Der Tagesgang der Bewölkung	33
6. <u>DER NEBEL</u>	36
6.1 Der Jahresgang der Nebelhäufigkeit	36
6.2 Der Tagesgang der Nebelhäufigkeit	37
6.3 Der Hochnebel als "Schönwetternebel"	38
6.4 Nebelwindrosen	40

	<u>Seite</u>
7. <u>DER NIEDERSCHLAG</u>	43
7.1 Die Niederschlagsmenge	43
7.1.1 Der Jahresgang der Niederschlagsmenge	43
7.1.2 Die Höhenabhängigkeit der Jahressumme	48
7.1.3 Die Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen	50
7.1.4 Der Tagesgang des Niederschlages	52
7.1.5 Die Starkniederschläge	53
7.2 Die Niederschlagshäufigkeit	55
7.2.1 Der Jahresgang der Tage mit Niederschlag	55
7.2.2 Die Höhenabhängigkeit der Niederschlagshäufigkeit	56
7.3 Die Niederschlagswindrosen	57
7.4 Die Schneefälle	59
7.4.1 Die Neuschneemengen	59
7.4.2 Die Schneefallwahrscheinlichkeit	60
7.4.3 Die Mächtigkeit der Schneedecke (Schneehöhe)	61
7.4.4 Zahl der Tage mit Schneedecke	62
7.4.5 Sommerschneefälle	63
7.5 Die Seevereisung	64
7.6 Trockenperioden	65
7.7 Die Verdunstung, hydrologische Bilanzen	66
8. <u>GEWITTER UND HAGEL</u>	69
8.1 Die Gewitterhäufigkeit	69
8.2 Gewitterzüge	70
8.3 Der Jahresgang und Tagesgang der Gewitter	70
8.4 Der Hagel	72
8.5 Die Blitzgefährdung	74
9. <u>DIE WINDVERHAELTNISSE</u>	75
9.1 Die Höhenwinde in der freien Atmosphäre	75
9.2 Die Windverhältnisse in Bodennähe	76
9.2.1 Die Verteilung der Windrichtungen (Windrose)	78
9.2.2 Die Windgeschwindigkeiten	79
9.3 Mittagswinde bei Gut- und Schlechtwetter	82
9.4 Der Südföhn	83
9.5 Der Nordföhn der Südalpentäler	84
9.6 Beispiel eines Passwindes: Bernina	85
10. <u>KLIMAREGIONEN GRAUBUENDENS</u>	87
10.1 Gliederung anhand der alpinen Waldgrenze	87
10.2 Gliederung mittels der Niederschlagsverteilung bei verschiedenen Wetterlagen (Strömungslagen)	89
10.3 Räumliche Synthese	92
Figuren- und Kartenanhang mit Verzeichnis	99
Literaturverzeichnis	116

1. EINFUEHRUNG

1.1 Geographische Beschreibung

Von den 7109 km² Graubündens entwässern 4270 km² oder 60 % nach Norden zum Rhein, Rheinbünden (Nord- und Mittelbünden). Die wichtigsten Teilgebiete sind: der Vorderrhein (Bündner Oberland) mit 1514 km², der Hinterrhein mit 1642 km², wovon die Albula und das Landwasser mit 950 km² (etwa Mittelbünden entsprechend) und die Landquart mit 618 km² (Prättigau, eigentliches Nordbünden). Die mittlere Gebietshöhe Rheinbündens liegt auf 1930 m ü.M., 2.5 % hievon sind vergletschert (z.vgl. Rhone vor dem Genfersee: 5520 km², 2130 m ü.M. und 16.2 %).

Ein mittlerer Teil, das Engadin, entwässert nach Nordosten zum Inn (Donau). Das sind weitere 1814 km² (hydrographisch bis Martina 1945 km²) mit (hydrographisch) 2350 m ü.M. mittlerer Höhe und 5.4 % Vergletscherung.

Die verbleibenden 1024 km² sind nach Südosten/Süden, zur Adria ausgerichtet. Zuflüsse des Po sind: die Moesa mit 465 km², wovon 136 km² die Calancasca (Misox und Calanca); die Maira mit 190 km² (Bergell) und der Poschiavino mit 238 km² (Puschlav). Der Rom (Rambach, 131 km², Münster-tal) fliesst in die Etsch. Die mittlere Höhe des Rom liegt auf 2190 m und die übrigen Südtäler dürften hiefür auch um 2200 m ü.M. aufweisen (O. Bär 1971, E. Walser 1967, F.A. Töndury 1946, Hydrograph. Jahrbücher). Die mittlere Höhe des ganzen Kantons beträgt 2090 m (H. Gutersohn 1961).

Auf dem Piz Bernina liegt mit 4049 m der höchste, bei San Vit-tore im Misox auf 258 m der tiefste Punkt Bündens. Der Kanton weist eine Grenzlänge von 697 km² auf, ca. 1/4 derjenigen der ganzen Schweiz. Hievon liegen 466 km gegen das Ausland: 331 km an Italien, 123 km an Oesterreich und 12 km am Fürstentum Lichtenstein. 231 km grenzen an Nachbarkantone: 102 km zum Tessin, 44 km an Uri, 41 km an Glarus und 44 km an St.Gallen.

Eine zentrale Talachse oder überragende randliche Gebirgszüge fehlen im Gegensatz zum Wallis. Diese mangelnde topographische Geschlossenheit verunmöglicht eine klimatische Einheit (vgl. Karte 1 im Anhang).

1.2 Beobachtungsunterlagen

Das auf den Winter 1863/64 gegründete schweizerische Wetterbeobachtungsnetz umfasste 80 Stationen mit täglich 3 Beobachtungen zu festen Zeiten. Hievon lagen 18 in Graubünden. Trotz zahlreicher Abgänge blieb diese Anzahl etwa gleich bis heute (Bd 1/C-1). Ab ca. 1880 traten die ersten Stationen zur täglichen Messung des Niederschlages hinzu; ihre Zahl in Graubünden ist allmählich auf 40 angestiegen. Das 1943 eröffnete Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (EISLF) auf Weissfluhjoch/Davos ermöglicht seither in der Zeit von November/Dezember bis März/April zusätzliche Schneeeinformationen an 15 bis 20 Orten des Kantons. Weitere Schneehöhenbeobachtungen liefert seit 1892 die Rhätische Bahn an einigen ihrer Stationen (Bd 1/N Nr. 706). An Sondernetzen mit einigen wenigen Stationen in Graubünden bestehen noch:

- das phänologische Netz (Annalen MZA, Anhg. 5 ab Jahrg. 1964),
- das Flugwetternetz (7 Aero. Stationen) mit Beobachtungen alle 3 Stunden tags und nachts (noch nicht ausgewertet).

Ueber meteorologische Beobachtungen vor 1864 in Graubünden orientiert R. Billwiller jun. 1927 (Bd 1/N Nr. 098), ferner R. Gsell 1945.

Mit gut 100 Jahren regelmässigen Wetterbeobachtungen an ausgewählten Orten sind indessen auch in unserem als gemässigt geltendem Klima nicht alle Seitensprünge erfasst worden. Dies beweisen uns Naturchroniken aus früheren Jahrhunderten. Hier sei nur auf die ausführliche Sammelarbeit für die Jahre 1043-1800 von Chr. Brügger 1876-1888 hingewiesen. Eine gewisse Fortsetzung findet sich für die Jahre 1867 bis 1920 in den jeweiligen Jahresberichten der Naturforsch. Gesellschaft Graubündens in Chur. Für das Engadin und seine Umgebung fasst A. Flugi 1931 solche Naturereignisse zusammen (von 1519 bis 1930). Unsere Vorfahren empfanden dabei folgende Eskapaden in Graubünden als bedrohlich:

- Starkregen mit Uberschwemmungen, oft nach schneereichen Wintern;
- klirrende Winterkälte mit Schneemangel;
- Hitze- und Dürrezeiten mit Heuschreckenschwärmen;
- Stürme und Wirbelwinde;

- Hagelschläge (nur etwa 25 schwere Schäden in 300 Jahren);
- Spät- und Frühfröste, Sommerschneefälle.

Blitz- und Föhnschäden wurden nur selten namentlich erwähnt.
1744 und 1759 wurden wochenlang anhaltende Inversionslagen beschrieben:
dicker Nebel im St.Galler Rheintal, warme Sonne darüber.

2. DIE BESONNUNG

2.1 Der Jahresgang der Sonnenscheindauer

Nur ein Teil des Stationsnetzes ist mit einem Registriergerät ausgerüstet (Ta. 1). Für regionale Vergleiche eignet sich die relative Sonnenscheindauer am besten. Die Talsohlen des Nordbündens weisen noch in Richtung des nördlichen Alpenvorlandes: dem recht deutlichen Hochwinterminimum von 35 % (Vorland 15-20 %) folgt ein bemerkenswertes August- und Septembermaximum von 55 %, d.h. 5-10 % höher als weiter nördlich. In Mittelbünden zeigen die Täler oberhalb 1000 m ü.M. ein Besonnungsmanko im Spätf Frühling (Mai) und Frühsommer (Juni; Schneeschmelzzeit, grosse Konvektion, wenig Hochdrucklagen). Das Hochsommermaximum verlagert sich in höheren Lagen zum Frühherbst (September-Oktober); mehr Hochdruck- und Föhnlagen bei gedämpfter Konvektion ergeben in ganz Rheinbünden den günstigsten Jahresabschnitt, siehe Fig. 1 im Anhang.

Tab. 1

Mittelwerte der Sonnenscheindauer in Stunden (sd) und der relativen Sonnenscheindauer (rs) in % der maximal möglichen Dauer, 1931-1960, ergänzt durch provisorische Werte (p) aus Tab 2 und 3.

Station		Winter XII-II	Frühling III-V	Sommer VI-VIII	Herbst IX-XI	Jahr I-XII
Disentis	sd	251	513	618	381	1763
1173 m	rs	46	49	52	51	50
Landquart	sd	219	490	598	368	1675
530 m	rs	39	49	51	50	48
Arosa	sd	298	503	596	421	1818
1864 m	rs	49	47	49	53	49
Weissfluhjoch	sd	385	527	565	464	1941
2667 m	rs	48	47	46	49	47
Davos	sd	263	470	547	386	1666
1561	rs	47	47	49	52	49
Bivio	sd	267	435	520	366	1588
1770 m	rs	48	50	55	52	52
St.Moritz	sd	304	503	587	411	1805
1832 m	rs	50	50	52	50	51
Scuol/Schuls	sd	256	518	617	392	1783
1253 m	rs	49	50	52	52	51
San Bernardino	sd	285	410	520	360	1575
1638 m (p)	rs	52	46	52	51	50
Sondalo (Veltlin)	sd	362	553	640	467	2022
1057 m (p)	rs	47	48	50	51	49
Corvatsch	sd	385	510	615	465	1975
3303 m (p)	rs	48	44	45	49	46
Pian Rosà (I/VS)	sd	395	568	654	483	2100
3488 m (p)	rs	52	49	52	52	51

Im Engadin ist nebst des Sommermaximums ein fast gleichwertiger Spätwinterhöchstwert (Februar-März) erkennbar. Die zahlreichen Winternordstaulagen beginnen im Engadin ihre Wirkung zu verlieren, ohne bereits einem durchgreifenden Nordföhneffekt unterworfen zu sein, wie er weiter im Süden typisch ist. Andererseits verhindern die im Herbst aufkommenden Südlagen die Verlängerung der Sommergunst.

Von den Bündner Südtälern liegen keine langen Messreihen vor. In Ergänzung zum Bd 1/I seien hier einige provisorische Angaben wiedergegeben.

Tab. 2

Provisorische Mittelwerte der effektiven (sd) und relativen Sonnenscheindauer (rs) von San Bernardino (Südportal) Aug. 1969-Juli 1976 und von Sondalo zwischen Tirano und Bormio im oberen Veltlin (A. Guerrini e.a. 1976) für 25 Jahre.

Station/Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
San Bernardino 1638 m	sd	95	105	135	140	135	160	190	170	145	125	90	85	1575
	rs	51	54	50	47	41	47	56	53	51	53	48	50	50
Sondalo 1057 m	sd	122	144	183	178	192	199	224	217	184	161	122	96	2022
	rs	48	54	53	47	44	45	51	53	53	52	48	40	49

Die bereits im Engadin erkannte spätwinterliche Begünstigung gegenüber Rheinbünden ist noch stärker betont. Andererseits wirkt sich die Schneeschmelzperiode, zusammen mit den Frühjahrsregen der Alpensüdseite vom April bis Juni, sehr ungünstig aus. Einen Ausklang des beständigen Mittelmeerwetters im Hochsommer erkennen wir auch hier, verlängert bis in den Herbst.

Als Abschluss noch unpublizierte Beobachtungen von zwei Gipfeln der Südalpenkette (Tab. 3)

Tab. 3

Anhand der Jahre 1969-1974 auf 1931-60 reduzierte effektiven Sonnenscheindauerwerte des Corvatsch, 3303 m ü.M. im Oberengadin und des Pian Rosà beim Theodulpass (Zermatt-Breuil) 1959-1976 (unreduziert), 3488 m ü.M.

Station/Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Corvatsch 3303 M	sd	125	130	170	160	180	180	220	215	180	160	125	130	1975
	rs	46	47	50	41	40	39	47	50	51	50	46	52	46
Pian Rosà 3488 m	sd	128	143	178	186	204	211	237	206	185	178	120	124	2100
	rs	50	53	51	49	47	50	54	51	53	57	47	52	51

Auf den Gipfeln der Südalpenkette verspätet sich das mediterrane Hochsommermaximum der Besonnung auf den Abschnitt August bis Oktober, dank der spätsommerlichen Konvektionsabnahme und der beständigeren Hochdrucklagen.

Ueber den Schwankungsbereich der effektiven Monatssummen einzelner Monate über mehrere Jahrzehnte orientiert Tab. 4.

Tab. 4

Extreme der Sonnenscheindauer in Stunden (bis 1976)

Station	Wintermonate	Sommermonate	Extr. Std	Jahr
Landquart- Plantahof seit 1909	Min. 18, Dez. 1924	Min. 101, Juni 1953	Min.	1421, 1954
	Max. 105, Dez. 1972	Max. 294, Juni 1976	Max.	1954, 1971
	Max. 168, Feb. 1959	Max. 297, Juli 1911		
Davos seit 1886	Min. 40, Dez. 1945 +	Min. 80, Juni 1953	Min.	1403, 1954
	1965	Max. 246, Juni 1887	Max.	2006, 1911
	Max. 125, Dez. 1972	Max. 279, Juli 1928		
	Max. 186, Jan. 1916	Max. 270, Aug. 1962		
St.Moritz seit 1901	Min. 36, Dez. 1950 +	Min. 78, Juni 1953	Min.	1418, 1922
	1966	Max. 256, Juni 1945	Max.	2054, 1945
	Max. 125, Dez. 1905	Max. 278, Juli 1902		
	Max. 215, Feb. 1932	Max. 256, Aug. 1962		

Die Spannweite ist überraschend hoch; auch im Süden, in Lugano, schwankte der Februar zwischen 34 Std (1972) und 218 Std (1908) oder der Juni zwischen 131 (1953) und 321 Std (1945), da zyklonale Lagen, mit Stau kombiniert, schlimmstenfalls einen ganzen Monat prägen können.

2.2 Der Tagesgang der Sonnenscheindauer

Für Arosa, Davos, St.Moritz und Lugano liegen im Teil I S. 35 und 36 (Bd 1/N Nr. 583) stündliche Werte der relativen Sonnenscheindauer vor. Im Gegensatz zum Flachland nördlich der Alpen fehlen vormittags die Reduktionen durch Tal- oder Hochnebel. So sind die Stunden zwischen 9 und 13 h die sonnigsten; im Frühsommer zwischen 8 und 10 h infolge der nachher entstehenden Cumuluswolken über den Bergkämmen. So zeigen Auswertungen für Gipfelstationen einen noch ausgeprägteren Tagesgang (s. Kap. 5).

2.3 Sonnige und sonnenlose Tage

Die öfters auftauchende Frage nach der Anzahl sonniger Tage wird durch keine der üblichen Klimastatistiken beantwortet. Die gebräuchlichen "heiteren" Tage (s. Kap. 5.2) sind zu restriktiv und beziehen sich auch auf Nachtstunden (R. Aniol 1970). Wir wählen hier als vorwiegend "sonnig" alle Tage, die mindestens 60 Prozent der maximal möglichen Sonnenscheindauer aufweisen (P. Rauh 1975, 1976). Aus Bd 1/I S. 33 lässt sich Tab. 5 erstellen.

Tab. 5

Anzahl vorwiegend sonniger (s) und ganz bedeckter Tage (b) pro Monat und Jahr, 1921-1950

Station/Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Davos	s	13	13	14	12	11	12	15	15	14	15	13	13	160
	b	7	5	4	3	3	2	2	2	2	4	6	8	48
St.Moritz	s	14	14	16	13	11	13	15	16	14	16	12	14	168
	b	8	5	5	4	3	2	2	2	3	5	7	8	54
Lugano	s	15	16	15	14	13	17	20	20	16	15	13	15	189
	b	8	6	7	5	5	2	1	1	4	7	9	10	65

Das Unbeständige am alpinen Frühling kommt hier zum Ausdruck. Die Verdoppelung der maximal möglichen täglichen Sonnenscheindauer bei verstärkter vertikaler Durchmischung der Atmosphäre verhindert jedoch ein Ansteigen der gleichförmig grauen, sonnenlosen Tage vom Winter zum Frühling. Auch hier wirkt sich zudem die Herbstföhnzeit (Südtau) aus. Da nicht jeder Südtau

unvermindert in das Oberengadin eindringt, ist die Herbstverschlechterung in St.Moritz nicht so ausgeprägt wie in Lugano.

2.4 Der säkuläre Gang der Sonnenscheindauer

Bereits F.W.P. Götz 1954 (Bd 1/N Nr. 247) erwähnt einen steten, langfristigen Rückgang der Sonnenscheindauer für Arosa von 1890 bis 1945. Der hiezu umgekehrt verlaufende Gang der Wolkenmengen (Kap. 5) wird als Bestätigung vorgebracht.

Tab. 6

Gang der 30-jährigen Sonnenscheinsummen pro Jahr in Std im Vergleich zur offiziellen Klimaperiode 1931-1960, s. Fig. 2

	1886-1915	1916-1945	1946-1975	1931-1960
Davos	1759 Std	1695 Std	1691 Std	1666 Std
Lugano	2216 Std	2140 Std	2044 Std	2101 Std

In Prozenten von 1886-1915 weisen die letzten 30 Jahre einen Rückgang von 4 % für Davos und fast 8 % für Lugano auf. Zumindest für Lugano ist nebst einer allfälligen natürlichen Bewölkungszunahme ein anthropogener Einfluss nicht auszuschliessen: die Zunahme des Verkehrs, der Industrie und Heizung als neue Emissionsquellen im Tessin und in der benachbarten Poebene. In diesem Sinne versteht sich auch die festgestellte Abnahme der horizontalen Sichtweite in der Magadinoebene zwischen den Jahrzehnten 1951/1960 und 1961/1970 (H.P. Roesli 1974).

Grossräumigen Klimapendelungen, wie für 1911-1915 und 1936-1940, die sich beidseits der Südalpenkette gleichartig auswirkten, stehen ungleiche Abweichungen gegenüber, wie 1946-1950, 1956-1960 und 1971-1975, wo sich das Verhältnis zwischen der Anzahl Nord- und Südtaulagen zugunsten der Nordstation (mehr Südtau) verschoben hat.

3. DIE TEMPERATURVERHAELTNISSE

3.1 Der Jahresgang der Lufttemperatur

Als Ergänzung und Vergleich zur ausführlichen Liste im Teil C in Band 1 für 1901-1940 folgt hier ein Auszug der jetzt (1976) gültigen Mittelwerte für die Klima-Doppelperiode 1901-1960, bezogen auf die heutige Lage und Instrumentierung. Provisorische Werte (p) neuer oder veränderter Stationen sind enthalten, sofern mindestens 3 Beobachtungsjahre vorliegen.

Tab. 7

Temperaturmittel ausgewählter Monate bezogen auf 1901-1960 in °C

	Art+ Exp.	Höhe m ü.M.	Jan. x=Feb.	Apr.	Juli x=Aug.	Okt.	Jahr	Spanne	
Platta/Medel	T	1375	-3.4	3.6	13.3	5.8	4.9	16.7	
Disentis (p)	S	1135	-2.9	4.8	14.4	6.2	5.6	17.3	
Hinterrhein (p)	F	1612	-7.0	0.8	11.4	3.3	2.1	18.4	
Bivio	H/T	1770	-6.0	1.5	10.8	3.3	2.4	16.8	
Weissfluhjoch	G	2672	-9.6x	-5.5	4.8x	-0.9	-2.7	14.4	
Arosa	E	1847	-5.7	0.2	10.1	3.4	2.0	15.8	
Davos	A	1580	-6.3	2.0	11.7	3.4	2.8	18.0	
Alvaneu (p)	E	1175	-3.7	5.1	14.0	6.2	5.4	17.7	
Schiers (p)	F	651	-4.4	7.4	16.6	7.1	6.7	21.0	
Chur	T	592	-0.7	8.8	17.7	9.4	8.9	18.4	
Grono	A	100	1.7	10.6	20.2	11.4	11.0	18.5	
Vicosoprano	H/T	1065	-1.0	6.6	16.8	7.9	7.6	17.8	
Robbia-Poschiavo	T	1078	-1.2	6.0	15.4	6.8	6.5	17.6	
Scuol/Schuls (p)	E	1798	-5.7	4.1	13.9	4.6	4.1	20.6	
Sta.Maria/Münstertal	H/A	1411	-4.0	4.8	14.8	5.6	5.3	18.8	
San Bernardino (p)	T	1628	-5.2	1.4	11.6	4.1	2.9	16.8	
Bever	F	1710	-10.0	0.5	11.1	1.9	1.0	21.1	
Sils/Segl-Maria	H/T	1332	-8.1	0.5	11.3	2.6	1.6	19.4	
St.Moritz	A	1525	-6.8	1.2	11.3	3.1	2.2	18.1	
Buffalora-Ofenpass	H/P	1968	-10.4	-0.3	10.3	0.9	0.2	20.7	1)
Bernina-Hospiz (p)	P	2236	-8.6	-2.4	8.9	0.8	-0.3	17.5	
Corvatsch (p)	G	1353	-13.3x	-8.3	1.5	-4.6	-6.0	14.8	2)

Art: H = Hausaufstellung (an der Hauswand vor einem Fenster)

Exp. = Exposition der Station: A = Anhöhe (30-100 m über der Talsohle),
E = Osthang, F = flach, G = Gipfel, P = Pass, S = Südhang, T = geneigte Talsohle

1) Hausaufstellung (H) bis Frühjahr 1976

2) aus 3 Vergleichsjahren Terminwerte 0830 und 1530 h mit Jungfraujoche
Höhe = Höhe des Messfeldes, bzw. des Hausfusses bei Hausaufstellung

3.2 Beurteilung der Temperaturstatistik (Tab. 7)

Nebst der Höhenlage über Meer und der Exposition der Station (Fig. 3) ist auch die Art der Instrumentierung zu berücksichtigen. Die Aufstellung H = Hauswand-Nordseite mit dem Thermometer (und Feuchtigkeitsmesser) in einer Blechhütte entspricht nicht mehr der internationalen Norm, die eine frei stehende Holzjalousiehütte vorschreibt mit den Instrumenten in 2 m über grasbewachsenem Boden. Wärme aus offenen Fenstern, aus der Hauswand, Hartbelagflächen und rückstrahlende Bauten in der Nachbarschaft erhöhen direkt und nachträglich (Wärmeretention) die Lufttemperatur. Dies sei hier an 2 Beispielen konkretisiert (Tab. 8).

Tab. 8

Einfluss des Hüttenwechsels und des Standortwechsels auf die Lufttemperatur; Mittelwerte reduziert auf die Periode 1901-1960.

Scuol/Schuls	Art+ Exp.	Höhe	Jan.	Apr.	Juli	Okt.	Jahr	Spanne
bis 1970	H/S	1253	-5.9	5.3	15.1	5.5	5.0	21.0
ab 1972	S	1298	-6.7	4.1	13.9	4.6	4.1	20.6
Disentis								
bis 1973	H/S	1162	-1.8	5.7	15.0	7.4	6.6	16.8
ab 1974	S	1185	-2.9	4.8	14.4	6.2	5.6	17.3

In Sils-Maria ist die Hausaufstellung (wie bis 1973 auch in Disentis) in 10 m über dem Boden. In 600 m Entfernung wurden von 1972 bis 1976 tägliche Minimawerte in einer freistehenden Hütte in 1,6 m über Boden protokolliert. Die Auswertung beider Minimastandorte ist in Tab. 9 enthalten.

Tab. 9

Mittlere tägliche Temperaturminima 1972-1976 in Sils/Segl Maria in 10 m über Grund und in Segl-Baselgia in 1,6 m über Grund, in °C.

Station	Art+ Exp.	Höhe	Jan.	Apr.	Juli	Okt.	Jahr
Segl-Maria	H/F	1802	-10.5	-4.0	6.2	-2.1	-2.4
Segl-Baselgia	F	1800	-13.2	-5.1	4.6	-3.2	-4.1
Hütte minus Haus			-2.7	-1.1	-1.6	-1.1	-1.7

Der Wärmeabfall zwischen beiden Standorten ist vor allem beim Vorhandensein einer Schneedecke evident. Im Vergleich zu den Hüttenwerten von Bever (1972-1976) ist Segl-Baselgia im Jahr um 0,3 Grad weniger kalt in den Minima (Januar aber -0.5 °C, Oktober +0.8 °C), jedoch um 1,4 Grad kühler in den Maxima als das 90 m tiefere Bever (See- und Malojawindeinfluss).

Das Stationspaar Chur und Schiers in Tab. 7 und Fig. 3 weist auf den Stadt- und Föhneinfluss hin, der in Chur, aber kaum im abgeschlossenen Becken und abseits des Dorfes gelegenen Station Schiers besteht.

3.3 Die Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe

Im Sommer ist gemäss Tab. 7 der vertikale Temperaturgradient recht einheitlich. Für den Juli beträgt er 10 Grad für 1620 m oder 0.62°/100 m (in Meereshöhe 22.1 Grad, in 500 m 19.0 Grad). Zwischen dem Pass- und Gipfelniveau ist eine Verstärkung auf 0.7°/100 m zu erkennen (Uebergang in die freie Atmosphäre).

Im Winter dürfen nur ähnliche Expositionen miteinander verglichen werden, wie z.B. Hang- mit Gipfellagen, da in den Talsohlen sehr ungleiche Kaltluftansammlungen möglich sind, je nach Talform und Talgefälle (s. Fig. 3). Für den Januar entspricht einem Höhenanstieg von 2000 m eine Abkühlung von 10 Grad, somit 0.5°/100 m (in Meereshöhe +3.2 Grad, in 500 m +0.7 Grad).

Der Jahresgradient beträgt 0.56°/100 m mit einem extrapolierten Meereshöhenwert von 12.7 Grad und in 500 m von 9.9 Grad (vgl. Atlasblatt Nr. 1 Bd 1/N Nr. 573).

Aus den Hang- und Gipfellagen lässt sich der Jahresgang der Höhenlage ausgewählter isothermer Flächen erhalten (Tab. 10, Fig. 4).

Tab. 10

Höhenlage der +10,0 und -10 Gradisotherme in Graubünden unter Ausschluss von Talbodenstationen, in m ü.M. Rheinbünden 100 bis 200 m unter, Südbünden etwa gleich viel über diesen Mittelwerten.

Monat	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
-10	2750	2700	3050	3500	4250	-	-	-	-	4300	3600	3050	-
0	650	950	1400	1900	2600	3150	3450	3500	3150	2500	1600	1000	2150
+10	-	-	(-350)	400	1050	1650	2000	1950	1450	500	(-400)	-	-

In den Wintermonaten drücken flache Talböden (z.B. Schiers, Bever) die 0 und -10° Isotherme um 700 bis 1000 m tiefer herunter als in Tab. 10. Im Frühling steigen die Isothermen um 600 m, im Herbst fallen sie um 800 m pro Monat.

Der Kulminationspunkt im Jahresgang der Lufttemperatur wird zwischen dem 20. Juli und 10. August erreicht (Bd 1/M, Fig. 5). Ähnliches besagt auch das Engadiner Sprichwort, wonach am St.Lorenztag (10. August) das Wachsen der Alpwiesen aufhöre und nach dem 24. August wachse auch im Tal nichts mehr (H. Lössli 1944). Um diese Wärmekulmination herum liegt die mittlere Weidezeit auf den Alpwiesen. Die Weiden am Berninapass, zwischen 2200 und 2400 m ü.M., werden im Durchschnitt zwischen dem 11. Juli und 11. September, also 62 Tage lang bestossen. Folgende Schwankungsbereiche wurden im Laufe eines Jahrhunderts notiert: Beginn 20. Juni bis 30. Juli, Ende 25. August bis 23. September; Weidezeit 27 bis 84 Tage (G. Simmen 1949, S. 59). Der Wärmetiefpunkt liegt beim 20. Januar, oberhalb 2000 m ü.M. verspätet er sich auf den 15. Februar.

3.4

Unterschiede der freien zur Gebirgsatmosphäre

Temperaturmessungen der freien Atmosphäre liegen von Radiosonden-
aufstiegen vor. Allerdings liegen diese Stationen ausserhalb der Alpen, die
nächstgelegenen sind Payerne, München und Mailand, wo mitternachts und mittags
je ein Aufstieg erfolgt. Der Mittelpunkt des aus diesen drei Punkten gebil-
deten Dreieckes liegt im Splügen/Rheinwaldgebiet. Für die Hauptluftdruck-
flächen gibt Tab. 11 die Mittelwerte der 10 Jahre 1951-1960 (WMO 1965).

Tab. 11

Mittlere Höhenlagen und Temperaturen auf den drei Standarddruckflächen im
Dreiecksmittelpunkt der drei Sondenfusspunkte Payerne, München und Mailand

Luftdruck mbar	Winter		Sommer	
	Höhe m ü.M.	Temp. °C	Höhe m ü.M.	Temp. °C
850	1439	-2.4	1519	+12.3
700	2959	-10.1	3114	+2.2
500	5470	-26.7	5754	-13.5

Ein Vergleich der Bündner Stationen in Tab. 7 mit den Tempera-
turen der freien Atmosphäre zeigt:

1. In Anbetracht der ungleichen Zeitbasis ist im Jahresmittel der Luft-
temperatur keine signifikante Abweichung festzustellen.
2. Die Winteratmosphäre ist in Graubünden bis inkl. 3000 m ü.M. deutlich,
d.h. 1.5 bis 1.6 Grad kälter als in der freien Atmosphäre (Nullgrad
schon in 650 statt erst in 950 m ü.M. im Januar). Im Sommer ist es in
den Bergen dagegen etwas wärmer; am meisten in 3000 m mit einem Ueber-
schuss von 0,6 Grad.

Nebst Abkühlungseffekten infolge erzwungenen Hebungen bei Strömungs-
lagen macht sich im Winter die Schneedecke im Gebirge gleichsinnig be-
merkbar; dazu kommen grössere Bergschatteneffekte (Talbodenstationen mit
Kaltluftseen wurden bereits hier beiseite gelassen; diesbezügliche Hinweise
s. bei W. Peppler 1932).

3.5

Thermische Merkmale der Gebirgsatmosphäre

Die mässige Ueberwärmung der inneralpinen Luft gegenüber dem Vorland im Sommer wurde schon früher beschrieben (A. de Quervain 1903, H. Brockmann-Jerosch 1919). Da nachts kein Wärmegewinn feststellbar ist, muss sich dieser auf die Mittags- und Nachmittagsstunden konzentrieren, was wiederum der alpinen Vegetation zugute kommt (Ansteigen der Höhengrenzen vom Vorland in das Alpeninnere). Bereits innerhalb des Gebirges kommen zwischen den sich tagsüber stark aufheizenden Talbereichen und den exponierten Berggipfeln überdurchschnittliche Beträge der Temperaturabnahme mit der Höhe vor (Tab. 12).

Tab. 12

Anzahl Tage pro Monat mit überadiabatischem Temperaturgradienten zwischen Davos (1580 m) und dem Weissfluhjoch (2672 m), d.h. mit mindestens 11.0 Grad Abnahme, Periode 1961-1970, Termin: 13.30 h (Programm H. Bantle, MZA).

Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
0.5	4.8	7.4	11.1	14.4	13.1	8.9	4.9	3.6	2.4	0.8	0.3	71.9

In den Monaten März bis Juli werden als mittlere Höchstgradienten solche von 1.2 Grad, im Extremfall von 1.4 Grad (Mai), d.h. 12 bis 14 Grad auf diese 1100 m Höhendifferenz, beobachtet. Um 07.30 und 21.30 h ergeben sich zusammen nur 1,7 Tage pro Jahr mit überadiabatischen Gradienten, gegenüber 72 Tagen pro Jahr um 13.30 h. Die Schneeschnmelzzeit vom April bis Juni erweist sich somit als labilster Jahresabschnitt mit übersteigelter Konvektion (s.a. Kap. 2 und 4-6). Die spätsommerliche Stabilisierung der Schichtung ist evident.

Obwohl das hier erwähnte Aufwärmen der sommerlichen Talluft tagsüber für die Vegetation und Landwirtschaft gegenüber der gleich hoch gelegenen Alpenrand- und Mittelgebirgslagen von wesentlichem Vorteil ist, stellt das komplementäre Phänomen, die winterlichen und nächtlichen Kaltluftansammlungen über den Talniederungen zwar kaum für die Vegetation, aber sowohl lokal-klimatisch wie lufthygienisch eine markante Erscheinung dar (siehe F-Stationslagen in Tab. 7). Diese Temperaturinversion, mit einer Sperrschicht in 100

bis 200 m über eher flachen, breiten Talböden, bzw. nur 20 bis 50 m in engeren, geneigteren Tälern, können im Hochwinter tagelang bestehen bleiben und den Luftaustausch vertikal und horizontal verhindern (Bd 1/N Nr. 236, 239, 575). Ueber dieser Bodenkaltluft liegt merklich wärmere Luft. In ihr werden im Vertikalprofil zwischen 150 und 300 m über der Talsohle die höchsten Wärmegrade erreicht (sog. warme Hangzone), darüber beginnen die Temperaturen normal abzusinken. Detailliergebenisse aus unserem Raum finden sich bei Ch. Urfer-Henneberger (1972 b und Bd 1/N Nr. 639, 641 und 644) und im Kap. 3.10.

3.6 Der Sommermittelbereich der Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittel

Als extreme Abweichungen der Monatsmittel von den in Tab. 7 erfassten Normalgrössen seien erwähnt:

3.6.1 Grosse Kälte

Der Februar 1956 brachte ein Defizit von 10 Grad für Nordbünden, von 7 bis 8 Grad für das Engadin und von 5 Grad für den Alpensüdfuss. Sommermonate unterschreiten ihren Sollwert um höchstens 3 bis 3 1/2 Grad.

3.6.2 Grosse Wärme

Wintermonate können in den Südföhntälern bis 6 Grad zu mild werden (Januar 1936, Februar 1972). Im Alpeninnern kommen mehr als 5 Grad kaum vor (Bever +5,7 Grad im Februar 1966). Am sonst bereits milden Alpensüdfuss beschränkt sich der mögliche Wärmegewinn auf 3 Grad. Im Sommer sind 3 3 1/2 Grad bereits als maximaler Ueberschuss zu werten (Juli 1928, August 1944, Juni 1877); im Süden steht der Juli 1928 mit 4 Grad positiver Abweichung isoliert da.

Die jahreszeitliche Spanne liegt innerhalb +/- 2 1/2 Grad, die Jahresspanne zwischen +/- 1 1/2 Grad in Nordbünden und +/- 1 Grad im Alpeninnern und im Süden, da bereits weitgehende Ausgleichvorgänge zwischen extremen kurzzeitigen Anomalien stattfinden.

Statistisch aussagekräftiger wären übergreifende 30-, 90- oder 365-tägige Zeitabschnitte, da sich ungewöhnliche Wetterphasen kaum an

Kalenderfixpunkte halten (Ausnahme: kalter Februar 1956). Stichproben ergaben, dass im Hitzsommer 1947 die wärmsten 31 aufeinanderfolgenden Tage, vom 22. Juli bis 21. August 1947, folgende Abweichungen vom Mittelwert für diesen Abschnitt erzeugten:

Zürich +5.0, Altdorf +4.3, Säntis +5.5, Bever +3.5, Lugano +3.3°C.

Für den Süden waren es die 31 Tage vom 27. Juni bis 27. Juli 1928 mit Rekordabweichungen: Lugano +4.2 und Bever +3.7 Grad.

3.7 Der Schwankungsbereich der Tagesmittel

Aus dem Abschnitt M des Tabellenwerkes (Bd 1/N Nr. 583) lassen sich Einzeltage erkennen, die im Hochwinter gut 15 Grad zu kalt sein können (z.B. Bever 10.2 1956), anderseits solche mit bis 14 Grad Ueberschuss (z.B. Bever 2.2 1923). Der 2. und 10. Februar können innerhalb 60 Jahren in ihren Tagesmitteln bis 30 Grad auseinanderliegen! Im Sommer beschränkt sich die maximal mögliche Abweichung auf +/-8 bis 10 Grad. Hier stellen trübe Nordstaulagen und sonnige Hitzewetterlagen, evt. noch durch Föhneinfluss verstärkt, die Extremtage, wogegen im Winter westrussische Bisenluft und Föhnlagen einander gegenüber stehen.

3.8 Die interdiurne Veränderlichkeit der Temperaturen

Die durch Wetterwechsel bedingten Temperatursprünge von einem Tag zum nächsten sind auch bioklimatisch, als Mass der Wetterunbeständigkeit, wichtig (Bd 1/N Nr. 583, C 9-12). Mittleren interdiurnen Aenderungen von 1,5 bis 2 Grad stehen im Winter einzelne Sprünge von +/-10 bis 12 Grad im Tagesmittel gegenüber. Im Sommer beschränken sich die Extrema auf +/-6 bis 9 Grade, Nordstaulagen in Nordbünden jedoch ausgenommen, da dort beim Wechsel von Südföhn auf Nordstau Abkühlungen von 10 bis 12 Grad möglich sind. Bei diesen nicht sonderlich eindrucksvollen Zahlen ist indessen zu beachten, dass Temperaturstürze meistens mit einer Zunahme der Windstärke, besonders in Hochlagen, und mit dem Verschwinden der Besonnung einhergehen, wodurch physiologisch der Abkühlungseffekt erheblich verstärkt wird.

Zwischen zwei Einzelterminen, die 24 Stunden auseinander liegen, können Temperaturwechsel +/-15 bis 18 Grad erreichen. Beginn und Ende von

Föhnwinden sind in den Niederungen Nordbündens massgebend an solch hohen Spannen beteiligt; föhnfreie Orte an Seeufern erreichen knapp +/-10 Grad in den extremen Sprüngen (z.B. Montreux).

3.9 Die täglichen Extremwerte der Lufttemperatur

Im Bd 1/C-6 kommt als Unterschied zwischen mittlerem täglichen Minimum und Maximum der Bereich von 6 bis 9 Grad im Winterhalbjahr und um 10 Grad im Sommer zur Geltung. Das Minimum fällt üblicherweise auf die Stunde vor dem Sonnenaufgang an der Station, das Maximum zwischen 14 h (Winter) und 16 h (Sommer). In den inneren Alpentälern sind ganzjährig 8 bis 12 Grad Tagesspanne üblich. Massgebend ist die Stationslage: Hangstationen weisen einen gedämpften Tagesgang auf (Arosa: Jahresmittel 7.1 Grad), Talbodenorte einen akzentuierten (Bever: 12,7 Grad). Die Ursache liegt gemäss Tab. 13 weitgehend bei den Werten der mittleren täglichen Temperaturminima begründet (s.a. M. Richter 1978, Ch. Urfer-Henneberger 1978 und Bd 1/N Nr. 239).

Tab. 13

Mittlere Tagesextreme an drei verschiedenen Stationslagen

		Hang 1847 m Arosa		Hangfuss 1825 St.Moritz		Talebene 1710 Bever		Bever minus			
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Arosa		St.Moritz	
								Min.	Max.	Min.	Max.
Winter- halb- jahr	Okt.	1.7	8.4	-0.7	10.1	-2.3	11.0	-4.0	2.6	-1.6	0.9
	Nov.	-3.3	2.1	-5.7	3.2	-8.2	2.6	-4.9	0.5	-2.5	-0.6
	Dez.	-7.7	-1.8	-11.2	-1.1	-15.2	-2.8	-7.5	-1.0	-4.0	-1.7
	Jan.	-8.7	-2.8	-12.4	-1.5	-16.3	-3.1	-7.6	-0.3	-3.9	-1.6
	Feb.	-7.3	-0.3	-10.6	1.0	-14.1	0.5	-6.8	0.8	-3.5	-0.5
	März	-5.6	1.8	-7.9	2.8	-9.7	2.9	-4.1	1.1	-1.8	0.1
Sommer- halb- jahr	April	-2.1	5.2	-3.5	6.7	-3.9	7.0	-1.8	1.8	-0.4	0.3
	Mai	0.9	8.7	0.3	10.4	0.1	11.6	-0.8	2.9	-0.2	1.2
	Juni	4.9	13.0	4.0	14.7	3.5	15.8	-1.4	2.8	-0.5	1.1
	Juli	6.4	14.8	5.3	16.6	4.5	17.8	-1.9	3.0	-0.8	1.2
	Aug.	6.1	14.2	5.1	16.0	4.3	17.3	-1.8	3.1	-0.8	1.3
	Sep.	4.7	12.2	2.7	14.1	1.4	15.1	-3.3	2.9	-1.3	1.0

Die langen Winternächte und die Schneedecke betonen den nächtlichen Wärmeverlust über Verebnungen (Bever). Nicht einmal tagsüber kann dessen Wirkung rückgängig gemacht werden (negative Differenzen in den Tagesmaxima zwischen Bever und St.Moritz zwischen November und Februar).

3.10 Beispiele von Inversionslagen im Oberengadin und im Bündner Rheintal

Die Aufeinanderfolge ununterbrochener Sperrschichten infolge einer Temperaturumkehr in der Vertikalen (Inversion) über mehrere Tage hinweg im Talsohlenbereich wenig geneigter Täler stellt auch in den Alpen lufthygienisch eine kritische Situation dar, auch wenn mehrheitlich nur Dunst und nicht Nebel (wie in den Flachländern) die Kaltluft markiert. In Tab. 14 sind für zwei Stationspaare über 10-12 Jahre statistische Erhebungen über Inversionslagen vorgenommen worden.

Tab. 14

Erstes und letztes Auftreten einer deutlichen Temperaturinversion noch um 13.30 h zwischen Bever (1710 m) und St.Moritz (1825 m) in 12 Jahren (1959-1970) bzw. zwischen Chur (582 m) und Disentis (1162 m) in 10 Jahren (1961-1970). Programm H. Bantle MZA.

Bedingungen: St.Moritz mindestens 2,0 und Disentis mindestens 0,0 wärmer als die entsprechende Talstation und mindestens 2 Tage hintereinander andauernd.

Stationspaar	mittlere Termine		extreme		Termine	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende
			frühest	spätest	frühest	spätest
Bever/St.Moritz	10.Nov.	11.März	20.Okt.	24.Nov.	22.Feb.	30.Apr.
Chur/Disentis *)	4.Dez.	3.Jan.	28.Okt.	7.Jan.	5.Dez.	23.Jan.
*) 1 Winter ohne Inversionen von mind. 2 Tagen Dauer.						

Beschränken wir uns für beide Stationspaare auf das Kriterium: obere Station mindestens gleich warm wie die untere an allen drei Beobachtungsterminen, so erhalten wir als am längsten dauernde Inversionslagen:

- a) Bever/St.Moritz: 19 Tage, vom 19.November bis 7.Dezember 1968
18 Tage, vom 23.Dezember bis 9.Januar 1963/64
und 17 Tage, vom 13. bis 29.Januar 1961.
- b) Chur/Disentis: 10 Tage, vom 31.Dezember bis 9.Januar 1963/64
8 Tage, vom 28.November bis 5.Dezember 1968
und 6 Tage, dreimal im Dezember 1962, 64 und 69.

Als markanteste Temperaturdifferenzen traten auf:

- a) Bever/St.Moritz: 12.3 Grad am 30.Januar 1967 um 07.30 h
11.5 Grad am 17.Januar 1969 um 21.30 h
11.2 Grad am 28.Februar 1970 um 21.30 h
11.1 Grad am 10.Januar 1968 um 21.30 h
ferner 7 mal 10.0 bis 10.9 und 15 mal 9.0 bis 9.9 °C
- b) Chur/Disentis 10.5 Grad am 30.Dezember 1969 um 13.30 h
10.2 Grad am 6.Januar 1964 um 13.30 h
10.2 Grad am 28.Januar 1964 um 13.30 h
ferner 6 mal 9.0 bis 9.9 und 6 mal 8.0 bis 8.9 Grad.

Zur genaueren Beurteilung der Immissionsbelastung wären nebst Winduntersuchungen bei Inversionslagen genauere Kenntnisse der Höhenlagen der Inversionsbasis, identisch mit der Dunst-/Rauch- oder Nebelobergrenze, notwendig. Insbesondere über Nordbünden (Strecke Ems - Landquart - St.Galler Rheintal) kamen in den letzten Jahren neue Emissionsquellen in Betrieb (z.B. Ems, Chur, Trimmis, Sargans, Sennwald), welche unter ungünstigen Hochwinterbedingungen (s.o.) smogähnliche Erscheinungen erzeugten. Erstmals trat diese Situation im Winter 1975/76 auf. Sie dauerte 21 Tage und war in der Nähe der Inversionsbasis, auf 1100 m ü.M. (500 m über der Rheinebene), im Raume Chur durch einen Propangeschmack gekennzeichnet (laut telef. Mitteilung von E. Biveroni, Chur vom 17.5.76).

Ueber die Häufigkeit von Talinversionen in alpinen Längstälern mit geringer Neigung gibt das Stationspaar Bever/St.Moritz im Oberengadin gute, vermutlich eher obere Richtwerte (Tab. 15).

Tab. 15

Mittlere und extreme Anzahl Tage pro Monat und Jahr zu den 3 Beobachtungsterminen mit einer Isothermie oder Inversion zwischen Bever (1710 m) und St.Moritz (1825 m); Periode 1959-1970. Programm H. Bantle, MZA.

	Mittlere Anzahl Tage			% aller Termine	Extreme Anzahl Tage					
	07.30h	13.30h	21.30h		07.30h		13.30h		21.30h	
					Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Okt.	24.8	8.3	21.8	59.0	19	30	2	17	13	29
Nov.	22.6	15.3	21.5	66.0	20	26	10	21	19	26
Dez.	<u>25.2</u>	22.2	23.8	<u>76.5</u>	21	29	15	27	22	26
Jan.	24.3	21.6	22.2	73.2	16	29	14	27	16	27
Feb.	22.2	16.3	18.9	67.6	17	26	7	20	11	26
Mrz.	21.8	15.2	14.9	55.8	15	27	8	25	5	25
Apr.	19.8	13.3	12.3	50.6	17	23	7	23	7	20
Mai	18.8	7.1	11.4	40.1	14	24	3	13	8	18
Jun.	17.6	<u>6.3</u>	10.6	<u>38.3</u>	11	24	2	12	6	13
Jul.	21.8	6.6	16.0	47.8	19	25	1	11	7	27
Aug.	20.6	<u>6.3</u>	13.6	43.5	17	25	3	11	5	22
Sep.	22.0	<u>7.2</u>	19.3	54.0	17	26	2	16	15	24
Jahr	261.5	145.7	206.3	56.0	237	279	106	183	162	235
	71.6%	39.9%	56.5%	-						
				Min. 49.5% (1959)						
				Max. 61.6% (1967)						

Die Tab. 15 stellt das Gegenstück zur Tab. 12 (überadiabatische Gradienten Davos/Weissfluhjoch) dar. Der Jahresgang der Inversionshäufigkeit ist mittags am ausgeprägtesten; für den Morgentermin ist er mehr mit der Anzahl klarer Nächte (und der Schneedecke) korreliert. Erstaunlich ist die hohe Anzahl von Morgensperrschichten innerhalb dieser 115 Höhenmeter; aufgetretene Schwierigkeiten mit der Immissionsbelastung durch die neue regionale Kläranlage in Celerina werden verständlich.

Die jährliche Anzahl markanter Inversionen von mindestens 3 Grad beläuft sich auf 18 % aller Beobachtungstermine (30 % morgens, 8 % nachmittags). Auch sie können in Extremmonaten noch an 20 bis 23 Tagen auftreten und jährlich zweimal während mindestens 3 aufeinander folgenden Tagen anhalten (Maximum 8 Tage 1961 und je 7 Tage 1962 und 1964).

Zwischen Chur und Disentis sind pro Jahr im Schnitt an 55 Tagen morgens Isothermien oder Inversionen zu erwarten, mittags und abends noch an je 32 Tagen.

Dem Oberengadin in bezug auf die Kaltluftseebildung sehr ähnlich reagiert das benachbarte Livigno, die Verebnungsfläche von Buffalora am Ofenpass, das Davoser Landwassertal, das Domleschg, das Rheinwald, die Becken von Zernez, von Ilanz und zwischen Schiers und Gräsch im unteren Prättigau, sowie das angrenzende Urserental (Uri) und das Goms (VS).

Statt mehr oder weniger weit auseinander liegender Stationen in verschiedener Höhenlage für Inversionsstudien zu bearbeiten, wären Vertikalsondierungen über der Talsohle zweckdienlicher. Als brauchbare Annäherung liesse sich das frühere Stationspaar Davos (1560 m) und Schatzalp (1868 m) ob Davos statistisch bearbeiten (Bd 1/N Nr. 178 Beispiele bei H. Bach, 1907 S. 94 u. 95). Um die wahre Momentanstruktur der Oberengadiner Talinversion in der Vertikalen zu erfassen wurden hiezu einige Flugzeugaufstiege mit Meteorographen vom Flugplatz Samaden aus bei Strahlungswetter ausgewertet (Tab. 16 und Fig. 6).

Tab. 16

Fünf Inversionsflüge über Samaden bei Sonnenaufgang (Startzeit 06.20 bis 06.40 h) zwischen dem 30.Juli und 3.August 1947.

Mittlere Starttemperatur der Luft (+6.2 °C) als Null gesetzt.

Mittlere Temperaturdifferenzen in verschiedenen Höhen hiezu in °C.

Höhe über Meer	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2500	3000	3500 m
Höhe über Tal	0	100	200	300	400	500	600	800	1300	1800 m
Differenz	0.0	+3.4	+6.5	+8.3	+8.6	+8.3	+8.5	+7.3	+3.0	-1.6

Die "warme Hangzone" ist als Isothermie zwischen 300 und 600 m über dem Tal gut ausgebildet (Lage der oberen Waldgrenze; s.a. Ch. Urfer-Henneberger 1972b und Bd 1/N Nr. 641, 644, ferner M. Richter 1978 und Ch. Urfer-Henneberger 1978). Diese Isothermie stellt den Uebergangsbereich zwischen der freien Atmosphäre und der Talluft dar. Diese "warme Hangzone" ist indessen im Vergleich zu anderen inneralpinen Hanglagen in vergleichbarer Höhe über Meer (z.B. Arosa in Fig. 6) kaum wärmer. Lediglich gegenüber der vorgelagerten Gipfelstation Säntis lässt sich die inneralpine Wärmebegünstigung erkennen. In der Firnzone (Pian Rosà VS/I) ist, auch als Uebergang in die freie Atmosphäre oberhalb der alpinen Gipfelstufe, eine verstärkte Temperaturabnahme mit der Höhe gegenüber dem Talbereich festzustellen (Vertikalgradient 0,8 bis 0,9 Grad/100 m gegenüber 0,6 bis 0,65 normalerweise). Infolge möglicher Trägheit des Temperaturfühlers beim Aufstieg kann die wahre Inversionsmächtigkeit statt 300 m um 50 bis 100 m geringer sein.

3.11 Extremtemperaturen

Anhand der täglichen Ablesungen am Minimum- und Maximumthermometer lassen sich mittels des Bd 1/C-6 folgende Grenzwerte zusammenstellen (Tab. 17).

Tab. 17

Mittlere und absolute Monats- und Jahresextreme 1901-1960 (Auszug)

Station	Höhe m ü.M.	J a n u a r				J u l i			
		mittleres Min.	Max.	absolutes Min.	Max.	mittleres Min.	Max.	absolutes Min.	Max.
Zürich	520	-9.8	10.5	-17.9	16.9	8.7	32.3	5.7	37.7
Davos	1560	-20.7	4.6	-32.0	8.0	1.4	24.3	-1.1	28.3
Säntis	2500	-19.9	0.0	-32.0	4.3	-2.8	15.1	-5.6	20.5
Bever *)	1710	-25.6	5.1	-32.4	12.9	-0.6	24.5	-3.5	28.5
Lugano	276	-6.1	14.1	-12.5	24.6	10.6	32.6	8.0	38.0
		J a h r							
		mittleres Min.	Max.	absolutes Min.	Max.				
Zürich		-12.5	33.1	-24.2	37.7	*) Bever: publizierte Maxima 1945-1954 bei Schönwetter um 5 bis 8 Grad zu hoch, hier re- duziert			
Davos		-23.0	25.0	-32.0	28.5				
Säntis		-22.5	16.0	-32.0	20.5				
Bever *)		-27.6	25.5	-34.5	28.5				
Lugano		-7.3	33.4	-14.0	38.0				

Fast alljährlich kommt am mildesten Januartag ein Wärmegrad zustande, der höher liegt als der kühlfte Juliwert.

3.12 Eis-, Frost-, Sommer- und Hitzetage

Innerhalb einer 30-jährigen Beobachtungsperiode betragen die Unterschiede zwischen den wärmsten und kältesten Jahren bei den Eis- und Frosttagen 30 bis 60 Tage (im Süden mehr als im Norden, s.F. Fliri 1975), ebenso bei den Sommertagen unterhalb 1000 bis 1200 m ü.M. Aus Bd 1/C-8 erstellen wir die Tab. 18.

Tab. 18

Anzahl der Eis- (E), Frost- (F), Sommer- (S) und Hitzetage (H) im Jahresdurchschnitt, Periode 1931-60.

Station	Höhe	E	F	S	H
Zürich	520	23	90	44	8
Chur	633	20	89	33	4
Schiers +)	682	35	136	25	2
Davos	1560	60	192	2	-
Säntis	2500	174	255	-	-
Bever	1710	69	218	2	-
St.Moritz	1853	51	203	1	-
Scuol +)	1253	40	166	24	1
Vicosoprano	1075	36	112	8	-
Lugano	276	2	62	91	18

+) alte Standorte mit Hauswandaufstellung; die neuen Standorte der freistehenden Wetterhütten sind rund 1 Grad kälter (vgl. Tab. 8, Kap. 3.2), was einen Zuschlag der Eis- und Frosttage von 10 bis 20 Tagen annehmen lässt (F. Fliri 1975, S. 160).

Die Temperaturschwellwerte, welche für die Klassierung in Tab. 18 gebraucht wurden, wurden in mindestens 2 m über Boden gemessen. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass Reifbildungen am Boden (Gras etc.) bereits bei noch positiven Wärmegraden in der Messhöhe auftreten. Temperaturmessungen über kurzge-

schnittenem Rasen, sog. Grasminima in 5 cm über Boden, sind denn auch im Mittel rund 2 Grad tiefer als die mittleren Hüttenminima desselben Ortes in 2 m über Boden; nach klaren Frühlingsnächten sind sogar 4 bis 5 Grad tiefere Grasminima üblich. Diese Frostverschärfung auf Grasspitzenhöhe bewirkt denn auch eine Zunahme der mittleren Anzahl von Frosttagen um rund 40 Tage pro Jahr (Messungen auf den 4 Flughäfen von Zürich, Genf, Sitten und Locarno). Angesichts der eher etwas häufigeren klaren Nächte in den Tälern Graubündens dürften die Vermehrung der Frosttage am Boden, wie im Mittelwallis und Tessin, um 45, evtl. bis 50 Tage betragen. Die Zahl der Eistage wird dagegen abnehmen, da die mittleren täglichen Temperaturmaxima in Bodennähe um etwa 2 bis 4 Grad höher sind als in der Wetterhütte (B. Baerlocher 1977). Hieraus ergibt sich eine Summationswirkung für die Frostwechseltage (Frost- minus Eistage), welche somit in Bodennähe erheblich zahlreicher sind als in der Wetterhütte auf 2 m über Boden.

3.13 Technische Wärmedaten

Für heiztechnische Belange finden die Heiztag Verwendung. Als Heiztag gilt jeder Tag mit einem Tagesmittel der Aussentemperatur unter 12.0 °C, falls eine Innenraumwärme von 20 Grad beansprucht wird. Die Heizgradzahl ist die über alle Heiztage eines Jahres gebildete Summe der täglich ermittelten Differenz zwischen 20.0 Grad und dem Tagesmittel der Aussentemperatur.

Als Beispiel seien einige Jahressummen der Heiztage (HT) und der Heizgradtage (GT) als Mittelwerte aus der SIA-Empfehlung Nr. 180 erwähnt:

Chur (595 m) 231 HT und 3720 GT, Davos (1560 m) 306 und 6100;
für den Säntis (2500 m) sind alle Tage des Jahres Heiztage, also 365 und 8250 GT.

Auf der Südseite notiert Lugano (278 m) 187 HT und 2720 GT, Castasegna (696 m) 213 und 3220. Häufige Kaltluftseen zeigen sich auch hier: Bever benötigt im Talboden (1708 m) 321 HT und 6820 GT, das etwas höher liegende St.Moritz (1822 m) jedoch nur 308 HT und 6180 GT, weil es meist bereits oberhalb dieser Kaltluft liegt, ähnlich wie Arosa (1734 m) mit 303 und 6020.

Im Normaljahr wird demnach in Bever im Oberengadin gut die doppelte Heizenergie von Castasegna im benachbarten Bergell benötigt. Die längeren Bergschatten im Bergell und die häufigeren Bergwinde in diesem geneigten Tal werden effektiv den grossen Unterschied etwas zugunsten des sonnigeren und im Winter windärmeren Bever verschieben.

In Opposition hiezu stehen Belange der Klimatisierung (Kühlung), für welche nebst hoher Wärmegrade noch Bestrahlungs- und Windeinflüsse massgebend sind (P. Valko 1975ff). Für Graubünden stehen diese Bedürfnisse jedoch im Hintergrund gegenüber dem Heizbedarf, weshalb nicht näher darauf eingetreten wird.

4. DIE LUFTFEUCHTIGKEIT

4.1 Die relative Feuchtigkeit

4.1.1 Der Jahresgang

Als Zusammenfassung des Teiles D des Tabellenwerkes ergibt sich die Tab. 19.

Tab. 19

Relative Luftfeuchtigkeiten in Prozenten 1931-1960. Amplitude (AM) = Spanne zwischen dem feuchtesten und trockensten Monatsmittel. Jahresminimum (MN) = tiefster Terminwert im Jahresdurchschnitt.

Station	Höhe m	Jan.	Apr.	Juli	Okt.	Jahr	AM	MN
<u>Südföhntal</u>								
Chur	633	73	63	68	73	69	11	21
<u>Hanglagen</u>								
Platta/Medel	1378	69	69	71	73	71	6	22
Arosa	1854	69	74	77	74	73	9	20
St.Moritz	1853	69	68	70	75	71	8	21
<u>inneralpine Kaltluftbecken</u>								
Schiers	670	81	69	73	80	76	15	26
Davos	1561	78	70	72	78	74	10	23
Bever	1712	78	71	70	77	75	12	22
<u>inneralpine Hangfusslage</u>								
Scuol/Schuls	1253	75	62	65	78	70	18	15
<u>Nordföhntäler</u>								
Sta.Maria	1411	66	61	63	74	66	13	21
Vicosoprano	1087	61	62	63	72	65	12	20
Grono	336	68	60	62	75	67	15	20
Lugano	276	68	62	62	75	67	13	15

Hohe Januarwerte charakterisieren die winterliche Kaltluftansammlung in den Talsohlen. In Hochlagen erzeugt die Schneeschmelze einen Feuchtigkeitszuschuss (s.a. Kap. 5). Gegen Süden macht sich auf den Herbst hin die vermehrten Südstaulagen geltend. Hohe Jahresamplituden sind aus der Kombination zwischen winterlichen Inversionslagen und sommerlichen Ueberhitzungen entstanden. Die Minima fallen in den Tälern meist auf die Monate März bis Mai

bei Föhn. Hang- und Gipfellagen erleben indessen ausgeprägte Lufttrockenheit innerhalb herbstlicher und winterlicher Hochdruckgebiete, v.a. zwischen Oktober und Februar, bei gleichzeitig nebligen Inversionen über den Niederungen.

4.1.2 Der Tagesgang

Er ist weitgehend invers zum Tagesgang der Lufttemperatur: Maximum der relativen Feuchtigkeit zur Zeit des Sonnenaufganges, d.h. zur Zeit des Temperaturminimums, das Minimum zur Zeit des Wärmemaximums, d.h. (für Tal- und Hangstationen) im Laufe des Nachmittages. Die tägliche Schwankungsbreite liegt bei 20 % im Winter und bei 40 % im Sommer. Gipfellagen dagegen sind, zumindest im Sommerhalbjahr, bereits zwischen 8 und 10 h vormittags am trockensten und weisen eine geringere Tagesspanne auf.

4.2 Die absolute Feuchtigkeit

Als absolutes Feuchtigkeitsmass verwenden wir hier den Dampfdruck als Teildruck des in der Luft vorhandenen Wasserdampfgehaltes, ausgedrückt im Millibar (mbar). Er wurde aus Bd 1/D S. 22 entnommen (Tab. 20).

Tab. 20

Mittlere Dampfdruckwerte in mbar, 1961-1969, AM=Spanne

Station	Höhe m	Jan.	Apr.	Juli	Okt.	Jahr	AM
Bad Ragaz	518	4.8	7.9	14.6	9.0	9.1	9.8
Davos	1561	3.2	5.3	10.4	6.4	6.4	7.2
Bever	1712	2.6	4.9	9.7	5.9	5.8	7.1
Lugano	276	5.0	8.5	16.2	10.6	9.8	11.3

Dem temperaturähnlichen Jahresgang, bedingt durch die gleichsinnig verlaufende Verdunstung, überlagert sich die Höhenlage der Station: mit abnehmender Lufttemperatur sinkt der Sättigungsdampfdruck.

Der Tagesgang ist bedeutungslos. Bei Talstationen ist der Mittagstermin im Sommerhalbjahr wenige Zehntel mbar unter dem Morgen- und Abendwert.

Berge zeigen dagegen um 0.5 (Säntis im Hochsommer bis 1.5) mbar höhere Mittagswerte (Zuschuss aus den Niederungen durch die Konvektionsbewölkung).

Folgende absolute Jahresextreme des Dampfdruckes e in mbar, ergänzt durch die Temperaturwerte des Taupunktes in $^{\circ}\text{C}$, sind im Laufe mehrerer Jahrzehnte möglich (Tab. 21).

Tab. 21

Extremwerte absoluter Feuchtigkeitsgrößen: e = momentaner Dampfdruck in mbar, T_d = Taupunkt in $^{\circ}\text{C}$ innerhalb mehrerer Jahrzehnte einmal zu erwarten, Zugspitze (BRD) nach H. Hauer 1950.

Station	Höhe m	Minimum		Maximum	
		e	T_d	e	T_d
Zürich	520	0.6	-28	28	+23
Davos	1560	0.3	-36	21	+18
Zugspitze	2960	0.1	-45	13	+11
Lugano	276	0.9	-20	32	+25

Für bioklimatische Zwecke besteht anhand des Dampfdruckes oder der Feuchtkugeltemperatur die Möglichkeit, die Häufigkeit des Schwüleempfindens abzuschätzen. Dieses beginnt erfahrungsgemäss bei einem Dampfdruck von 18.8 mbar (= 14.1. mm Hg) oder bei einer Feuchtkugeltemperatur von 18 Grad oder mehr. Diese Beträge werden als Monatsmittelwerte nirgends bei uns erreicht, so dass auf die einzelnen der drei mal täglich erfassten Terminwerte gegriffen werden muss. Stichproben zufolge sind in den Niederungen nördlich der Alpen pro Jahr im Mittel 10 bis 15 Tage (Stadt Basel 25 Tage), im Südtessin 35 bis 40 schwüle Tage zu erwarten (Stadt Mailand 50 Tage, M. Bider und J.C. Thams 1950). Auf 1000-1200 m ü.M. sind es nur noch vereinzelte Tage pro Jahr und auf 1500-1800 m verschwinden sie ganz. Höchstwerte des absoluten Feuchtigkeitsgehaltes fallen meist auf windschwache Flachdrucklagen im Juli oder August, verbunden mit Hitzdunst und Wärmegewittern.

5. DIE BEWOELKUNG

5.1 Der Jahresgang des Bedeckungsgrades

Aus den dreimal täglich vorliegenden Schätzungen der Wolkenmenge sind aus dem Abschnitt H des Tabellenwerkes (KB Nr. 583) die Angaben in Tab. 22 entnommen (Fussnoten-Korrektur einberechnet).

Tab. 22

Jahreszeiten- und Jahresmittel des Bedeckungsgrades in Prozenten (0 % = wolkenlos, 100 % = völlig bedeckt); niedrigstes und höchstes Monatsmittel im Jahresdurchschnitt, Periode 1931-1960.

Station	Höhe m	Wi.	Fr.	So.	He.	Jahr	Min./Mon.	Max./Mon.
Chur	582	62	61	60	59	60	56 IX	64 XI
Disentis	1173	60	62	58	59	60	56 IX	64 V
Arosa	1864	58	64	64	57	61	56 X	68 V, VI
Davos	1561	56	61	61	56	59	54 XII	65 V, VI
Weissfluhjoch	2667	59	65	67	59	62	57 XII	70 VI
Bivio	1770	54	59	53	52	55	50 XI	63 V
Bever	1712	52	58	58	54	55	51 XII	62 V
Scuol/Schuls	1253	53	57	55	52	54	51 IX	61 V
Sta.Maria	1411	45	52	52	47	49	44 XII	56 V
Robbia	1079	42	52	50	48	48	41 XII	57 V
Vicosoprano	1065	48	58	54	54	53	47 XII	63 V
Lugano	276	49	53	44	52	50	42 VII	57 V

Im Nord-Südprofil lässt sich aus Tab. 22 eine erste Wolkenscheide am Albula-gebirgskamm, eine zweite an der Bernina-Rheinwaldkette erkennen: Der Unterschied zwischen Davos und Scuol bzw. Bever liegt um 5 Prozent, ebenso zwischen Bever und den Südtälern, wobei im Sommer die Bewölkungsabnahme nach Süden am grössten, im Herbst am geringsten ist.

Der Frühling, zum Teil noch der Frühsommer, ist im ganzen Kanton wolkenreich (Südstaulagen, Schneeschmelze, grosser vertikaler Temperaturgradient). Im Bündner Oberland (Panix) wird gesagt, ein Mann müsse alt sein, um sich an drei gute Aprile erinnern zu können, ferner: der Mai und Juni

müssen gar nicht viel besser sein als der April, um doch noch eine gute Ernte zu geben (A. Spescha 1973).

Im Herbst wird der Süden infolge aufkommender Südstaulagen etwas benachteiligt, im Sommer indessen am Nordrand des beständigen Mittelmeerklimas am meisten bevorzugt. Das Engadin stellt dabei ein Uebergangsklima dar (Bd 1/N Nr. 227, 228).

5.2 Heitere und trübe Tage

Im Vergleich zu Tab. 5 (Kap. 2.3) sind die "heiteren" Tage restriktiver definiert als die "sonnigen" Tage; die "trüben" Tage dagegen larger als die bedeckten (sonnenlosen) Tage.

Tab. 23

Mittlere Anzahl heiterer Tage (Bewölkungsmittel unter 20 %) und trüber Tage (über 80 %) pro Jahr sowie für den durchschnittlich hellsten und trübsten Monat 1931-1960 (Bd 1/H).

Station	Höhe m	heiter	trüb	wolkenärmster		wolkenreichster	
				Monat			
				heiter	trüb	heiter	trüb
Chur	582	61	132	7	10 IX	4	12 I
Davos	1561	61	132	7	10 XII	3	12 V, VI
Bever	1712	74	107	8	8 XII	4	11 V
Lugano	276	100	98	9	4 VII	6	10 V

Da die Nordwindlagen etwas häufiger sind als die Südwindlagen, sind Nord- und Mittelbünden leicht benachteiligt. Zudem überdecken Hochnebellagen entlang des Alpennordfusses häufiger auch Nordbünden als diejenigen über der Poebene das untere Tessin. Die bewölkten Tage (Ergänzung zum vollen Monat) zeigen eine Tendenz, bei abnehmender Bewölkungsmenge etwas zuzunehmen (w.a. F. Fliri 1975, S. 61).

5.3 Bewölkung und relative Sonnenscheindauer

Die Addition des Bewölkungsmittels in Prozenten zur mittleren relativen Sonnenscheindauer (Tab. 1 bis 3, Kap. 2.1) sollte Beträge um 100 % geben, auch wenn sich die relative Sonnenscheindauer nur auf das Band entlang der Sonnenbahn beschränkt und sich nicht, wie bei der Bewölkungsmenge, auf den ganzen Himmel bezieht.

Tab. 24

Durchschnittliche Summen aus der mittleren Bewölkung und der relativen Sonnenscheindauer in Prozenten für 1931-1960, nach Bd 1/H-2 und F. Fliri 1975, S. 51.

Station	Höhe m	Wi.	Fr.	So.	He.	Jahr	Min./Mo.		Max./Mo.	
Chur/Bad Ragaz	546	102	108	109	108	108	100	XII	111	VIII
Disentis	1173	106	111	110	110	110	104	XII	113	VIII
Arosa	1864	107	111	113	110	110	105	XII	113	So.
Davos	1561	103	105	110	108	108	100	XII	112	VII
Weissfluhjoch	2667	107	112	113	108	109	105	XII	114	V
Bivio	1770	102	109	108	104	107	98	XII	111	V
St.Moritz/Bever	1772	102	108	110	104	106	98	XII	110	VII
Scuol	1253	102	107	108	104	105	100	XII	108	V-VII
8 Orte Graubünden	1575	104	109	110	107	108	101	XII	112	So.
23 Orte Tirol	1329	100	109	111	106	108	97	XII	112	VII
Locarno-Monti	379	109	111	116	111	112	105	XII	117	VI
Lugano	276	100	103	106	102	104	98	XII	107	VII
Bozen	281	98	104	104	98	101	87	XI	106	V

Tab. 24 zeigt einen deutlichen Jahresgang. Er beruht auf der verschiedenen Wolkenstruktur. Im Winter werden die mehrheitlich geschichteten, advektiven Wolkenfelder ohne wesentliche Deformation den Alpenraum einhüllen. Im Sommer ist die aufgetürmte Konvektionsbewölkung stark reliefgebunden, indem sie sich bevorzugt an die Gebirgsketten klammert und über genügend breiten Tälern ein wolkenarmes Band frei lässt. Liegt dieses freie Band in der Sonnenbahn eines Messortes (z.B. Vorderrheintal, Landwasser, Engadin und v.a. Mittelwallis), kommen Summenwerte bis 115 vor. Im Winter dagegen kann die tiefstehende Sonne vor allem in den Niederungen den dichten, nebligen Dunst auch bei wolkenlosem Wetter nicht genügend durchdringen, um auf dem Messstreifen eine Brenns spur

zu erzeugen (v.a. Lugano und Bozen mit dem von Süden hereinschleichenden Poebenedunst). Cirrus-Wolken müssen als Bewölkung einbezogen werden, auch wenn die Sonne durch sie hindurch noch eine Brennsur zu erzeugen vermag; sie können sekundär auch die Summe über 100 anheben. Bei windreichem Wetter können örtlich föhnige Absinkbewegungen hinter Bergkämmen nahezu ortsfeste Wolkenlöcher bei sonst überzogenem Himmel erzeugen, wie z.B. im Geländedreieck Bever-Celerina-Pontresina, über Tiefencastel oder über Flims-Ilanz-Brigels. Auf den neuen Fernerkundungssatelliten (LANDSAT/ERTS und NOAA) lassen sich solche mesoklimatischen Eigenheiten im strömungsbedingten Wolkenfeld sogar aus 900 bis 1500 km Höhe recht gut erkennen.

5.4 Der Tagesgang der Bewölkung

Aus den täglichen Terminbeobachtungen lassen sich näherungsweise Tagesgänge erkennen (Tab. 25).

Tab. 25

Bewölkungsmittel der drei Terminbeobachtungen in Prozenten, 1901-1940 (unveröff. Tab. MZA Zürich; beachte andere Periode!)

Station	Höhe m	Dezember			Juni			Jahr		
		07	13	21h	07	13	21h	07	13	21h
Chur	582	61	60	59	58	60	62	59	58	57
Seewis	953	62	60	58	59	62	66	60	59	58
Davos	1561	53	54	49	57	67	65	55	59	55
Arosa	1864	54	55	49	60	69	66	56	60	55
Säntis	2500	65	63	58	67	81	68	65	70	63
Scuol/Schuls	1253	58	55	50	56	62	61	57	57	52
Bever	1712	57	54	48	59	63	59	58	57	50
Sils/Segl i.E.	1802	54	52	47	54	62	60	53	56	52
Grono	357	48	52	42	50	61	50	49	55	45
Lugano	276	50	48	46	52	54	52	48	46	43
Mittel 10 Stat.	1286	56	55	51	57	64	61	56	58	53
z.Vgl. 2 Flachlandstationen nördlich der Alpen										
Hallau SH	450	90	80	80	54	55	57	70	63	60
Olten SO	391	95	85	87	68	64	61	79	68	66

Je stärker die Beobachtungsstation zur warmen Jahreszeit der tagesperiodischen Konvektion mit Wolkenbildung über den Bergen unterworfen ist, desto stärker ist der vormittägliche Anstieg des mittleren Bewölkungsgrades. Das winterliche Morgenmaximum weist auf häufige Nebel oder Hochnebel hin (s.a. Kap. 2.1.2).

Für Graubünden liegen noch keine Auswertungen der hier durchgehend alle drei Stunden beobachtenden Flugwetterstationen (Aero) vor. Von den internationalen synoptischen Stationen stehen aus der Nachbarschaft erste zehnjährige Statistiken zur Verfügung (Bd 1/H-6), s. Tab. 26.

Tab. 26

Tagesgang der Bewölkungsmenge in Prozenten, 1953 oder 1954 bis 1962;
A = Amplitude, Spanne zwischen Minimums- und Maximumsstunde.

Station	Monat	B e o b a c h t u n g s z e i t (MEZ)								Mittel	A
		0030	0330	0630	0930	1230	1530	1830	2130		
Sitten	Juni	49	56	54	54	59	62	66	58	58	17
VS	Dez.	56	55	54	59	56	56	50	54	55	9
481 m	Jahr	48	50	55	54	55	56	58	50	54	10
Gütsch/	Juni	69	70	69	71	76	78	80	80	74	11
Andermatt	Dez.	54	53	53	61	60	64	54	51	56	10
2284 m	Jahr	56	56	59	63	64	68	68	61	61	12
Pian Rosà	Juni	56	51	50	59	71	75	75	69	64	25
Theodulpl.	Dez.	42	44	42	52	50	51	44	41	46	11
3488 m	Jahr	45	44	45	50	56	61	59	50	51	17
Locarno/	Juni	51	59	56	56	59	63	64	58	58	13
Magadino	Dez.	44	43	46	55	56	53	43	43	48	12
198 m	Jahr	46	48	54	54	55	56	51	48	51	10

Einem allgemeinen Minimum während der zweiten Nachthälfte steht ein Maximum während des späten Nachmittages gegenüber. Den ausgeprägtesten Tagesgang zeigen die höher gelegenen Stationen im August und September, wo zwischen 0330 und 1530 oder 1830 h Amplituden bis 20 %, auf dem Pian Rosà beim Theodulpass ob Zermatt im August sogar 30 % (von 39 % auf 69 %) auftreten. Diese den Erfahrungen der Flachlandbewohner widersprechende tagesperiodischen Bewölkungs-

rhythmen sind eine gesamtalpine Erscheinung (F. Steinhauser 1970), ist doch auch in Oesterreich das Bewölkungsmittel für die Gipfellagen zwischen 16 und 20 h mit einem Mittel von 85 % für die Monate Mai und Juni am höchsten. Diesem Maximum im ganzen Jahr steht ein Bewölkungsminimum von weniger als 55 % für die Nacht- und frühen Morgenstunden im September und Oktober gegenüber.

6. DER NEBEL

6.1 Der Jahresgang der Nebelhäufigkeit

Aufgrund der Besprechung der Besonnung und Bewölkung wurde wiederholt der Nebel (und Hochnebel) als Ursache winterlicher Benachteiligung tiefer gelegener Stationen erwähnt. Im Nebel muss die horizontale Sichtweite unter 1000 m sein (aufliegende Wolke) und nicht durch starke Niederschläge, Staub oder Rauch bedingt sein.

Tab. 27

Zahl der Tage pro Jahreszeit und Jahr mit (kürzer oder länger dauerndem) Nebel auf der Station, 1931-1960, aus Bd 1/H-8 und F. Fliri 1975.

Station	Höhe m	Exp.	Wi.	Fr.	So.	He.	Jahr	
Platta/Medel	1378	T	10.8	12.5	16.7	17.9	57.9	
Splügen	1506	F	0.9	0.1	0.8	1.2	3.0	
Arosa	1865	H	2.8	10.6	18.6	14.4	46.4	(Fig.7)
Tschiertschen	1351	F	8.1	9.7	11.0	10.1	38.9	
Chur	633	F	1.6	0.0	0.0	1.3	2.9	
Bad Ragaz	518	F	6.7	0.3	0.1	3.8	10.9	(Fig.7)
Seewis	953	H	8.3	9.7	10.0	14.1	42.1	
Schiers	657	F	5.2	1.0	0.8	3.7	10.7	
Davos	1561	F	0.8	1.3	0.6	2.5	5.2	
St.Moritz	1853	A	0.7	1.2	3.6	4.7	10.2	
Bever	1711	F	1.6	1.3	3.9	5.5	12.3	(Fig.7)
Buffalora	1968	F	0.3	0.3	1.6	2.0	4.2	
Scuol/Schuls	1253	A	2.8	1.3	2.6	5.3	12.0	
Vicosoprano	1087	T	1.2	0.5	0.0	1.3	3.0	
Säntis	2500	G	51.5	59.6	70.3	50.0	231.4	(Fig.7)
Weissfluhjoch +)	2667	G	37.4	39.4	43.8	31.8	152.4	(Fig.7)
Sonnenblick (A)	3106	G	61.6	73.9	78.0	63.9	272.4	

Exp. = Lagebezeichnung:

A = Anhöhe (30-100 m über Talsohle)

F = flacher Talboden

G = Gipfel

H = Hang (mehr als 100 m über der Talsohle)

T = geneigtes Tal

+) Zeit 1947-1960 (Bd 1, N Nr. 710)

Hanglagen und Täler mit einem merklichen Gefälle (H und T) lassen aus ihrem Jahresgang erkennen (Fig. 7), dass sie vornehmlich durch Schlechtwetternebel (Wolken) eingehüllt werden. Bereits der Wolfgangpass, knapp 100 m höher als Davos gelegen, weist etwa 10 mal mehr Tage mit Nebel auf als Davos (H. Bach, 1907, S. 47). Einzig bei Seewis sind noch einige Hochnebelfälle am Rande von Hochdrucklagen (Bise) erkennbar (v.a. im Herbst). Ueber flachen Tälern (F) dominieren die Strahlungsnebel nach klaren, windarmen Nächten, besonders im Spätsommer und Herbst. Im Winter gefriert der sich bildende Nebel bei Lufttemperaturen unter -15 Grad häufig aus, was zu seiner Auflösung führen kann. Berggipfel sind häufig in Wolken getaucht, die sowohl advektiver (Schlechtwetter) wie konvektiver Art (Schönwetterthermik) sein können. Inneralpine Gipfel sind etwas besser daran, da die Wolkenuntergrenze generell höher liegt als beidseits der Alpen und Voralpen; über Mittelländern macht dies bei Konvektion (Cumulusbasis) zwischen 600 und 1000 m, über dem Engadin zwischen 1000 und 1500 m aus; advektive Wolken werden wenig unterhalb überströmter Bergkämme "abgeschnitten". Das winterliche Nebelmaximum über dem nördlichen Flachland mit je 20 bis 30 Tagen im Herbst und Winter wirkt sich in Nordbünden nur andeutungsweise aus (Zunahme von Chur nach Bad Ragaz).

6.2 Der Tagesgang der Nebelhäufigkeit

Aus Graubünden liegen hiezu keine Statistiken vor. Als nebelarme Talbodenstation eines inneralpinen Längstales kann der Flugplatz Sitten den Rahmen geben. Der Gütsch ob Andermatt nimmt die Lage einer hochgelegenen Hangstation ein, der Pian Rosà (Testa Grigia) beim Theodulpass ob Zermatt diejenige eines Südalpengipfels und Locarno-Magadino steht für den Alpensüdfuss (Tab. 28).

Tab. 28

Mittlere Anzahl der Fälle mit Nebel während der 8 Beobachtungsterminen pro Jahr, Zeit 1953 oder 1954 bis 1962 (Bd 1/H-13) sowie SU = Summe und % = Prozent aller 2920/2928 Termine pro Jahr.

Station	Höhe m	0030	0330	0630	0930	1230	1530	1830	2130	SU	%
Sitten	481	3.5	4.2	4.6	4.5	2.2	1.8	2.0	3.2	26.0	0.9
Gütsch	2284	41.8	38.1	28.8	22.9	20.8	24.3	33.8	41.6	252.1	8.6
Pian Rosà	3488	113.8	107.7	95.4	101.5	120.5	129.5	131.8	124.8	925.2	31.7
Locarno	198	7.4	9.6	13.0	4.1	2.6	2.0	2.4	5.1	46.2	1.6

In Passzonen kann die Konvektionsbewölkung zusammen mit dem Talwindssystem (Kap. 9) zu unerwarteten Nebeleinbrüchen führen, sofern die Konvektionsbasis tiefer liegt als üblich. Bekannt ist die "Malojaschlange" als Wolkenband, welches mit dem Bergeller Talaufwind über den Malojapass in das obere Oberengadin getrieben wird. Auch andere Südalpenpässe zeigen Ähnliches (z.B. Bernina, Splügen); es wird als Schlechtwetterankünder gedeutet (zunehmende Luftfeuchtigkeit mit präfrontalem Südstaubeginn). Als Folge von Schlechtwetter mit Stau sind ähnliche Wolkenschlangen in Nord- und Mittelbünden bekannt: die "Klostersschlange" in Richtung Wolfgangpass-Davos oder der "Churer Express", der von Chur das Schanfigg herauf kriecht und auch "Langwieser Schnellzug" oder "Schanfigger Hexe" genannt wird, weil sie das Aroser Becken unweigerlich in eine "Milchsuppe" hüllt (Bd 1/N Nr. 247). Bei dieser Wetterlage sind solche "Schlangen" auch im Bündner Oberland verbreitet.

6.3 Der Hochnebel als "Schönwetternebel"

Hauptsächlich während des Herbstes und Winters entstehen die etwas weniger dichten Hochnebeldecken, welche für die Höhen darüber das "Prospektwetter" mit Sonne über einem Nebelmeer ergeben. Diese Wolkenschicht kann auf den Talböden aufliegen und dort als Nebeltag in die Statistik eingehen. Schwebt die graue Decke über dem Talboden, entsteht dort ein bedeckter, aber am Boden nebelfreier "Hochnebeltag", dafür melden die Hangstationen Nebel, solange sie sich nicht oberhalb des Nebelmeeres befinden.

Die vertikale Dicke dieses kaltfeuchten Hochnebels beträgt für Schichten, deren Obergrenze etwa 1500 m.ü.M. nicht übersteigt, zwischen 200 und 400 m; für die 1500 m ü.M. übersteigenden Schichten 400 bis 600 m. Für Nord- und Mittelbünden direkt liegt keine Statistik über die bei Hochnebel meistens interessierenden Obergrenzen vor. Eine langjährige Statistik vom knapp 30 km nördlich der Nordgrenze Bündens liegendem Säntisgipfel aus erlaubt jedoch einen zutreffenden Eindruck auch für Nord- und Mittelbünden, da die Höhenlage eines solchen Nebelmeeres oft über hunderte von Kilometern praktisch horizontal verläuft (Tab. 29).

Tab. 29

Mittlere Anzahl der Tage im Jahr mit einem vom Säntis aus beobachteten Nebelmeer, unterteilt in 100-m Stufen (Bereich -50 bis +50 m).
Tiefstes Niveau: 400 m ü.M. = Bodensee, Zürichsee. Alle geschlossenen und aufgelockerten Nebelmeerobergrenzen, Zeit 1941-1975, getrennt für 07 und 16 h (Tagesgangeinfluss), 3813 bzw. 2317 Fälle.

Obergrenze m ü.M			aufsummierte %-Werte	
Höhe	07h	16h	07h	16h
2500	1.1	1.3	100.0	100.0
2400	1.7	2.6	99.0	98.1
2300	1.6	2.0	97.4	94.1
2200	1.9	2.5	95.9	91.1
2100	1.6	2.3	94.2	87.3
2000	3.1	3.8	92.8	83.8
1900	2.2	2.7	90.0	78.0
1800	3.7	3.7	87.9	73.9
1700	3.3	3.3	84.5	68.3
1600	4.0	4.0	81.5	63.4
1500	4.4	3.2	77.8	57.4
1400	5.2	2.8	73.8	52.6
1300	5.1	2.8	69.1	48.4
1200	5.0	3.8	64.4	44.2
1100	4.0	2.5	59.8	38.5
1000	8.2	4.8	56.2	34.7
900	10.3	3.9	48.7	27.5
800	13.9	6.8	39.2	21.5
700	13.7	5.6	26.4	11.3
600	11.9	1.6	13.8	2.8
500	3.0	0.2	2.9	0.3
400	0.1	-	0.1	-

Total pro Jahr
Tage mit Nebelmeer:

07 h	16 h
109.0	66.2

Medianwerte der
Nebelobergrenze
in m ü.M.:

07 h	16 h
920	1340

Wie bei Schätzwerten üblich sind gewisse Bevorzugungen geradzahliger oder gerundeter Hektometerwerte erkennbar; markante Höhenquoten im Gelände können ebenfalls gewisse Häufungsstellen erzeugen. Nebelobergrenzen bis gegen 1000 m ü.M. bedeuten meistens Nebel bis in die Talsohlen der Nordalpentäler. Allerdings beeinflussen diese Nebelmeere Nordbünden insofern selten, als in der Mehrheit der Fälle anstelle des Nebels nur ein feuchter, kalter Dunst tritt. Bereits Bad Ragaz weist in solchen Fällen mehr als 50 % der maximal möglichen Sonnenscheindauer auf; die Nebelwand beginnt überlicherweise erst wenig nördlich Sargans (H.W. Courvoisier 1976, F. Schacher 1974). Erst Nebelobergrenzen ab 1000 bis 1100 m ü.M. überfluten auch den Abschnitt Chur-Ems und dringen ab

1200 bis 1400 m Obergrenze weiter talaufwärts über Flims und Ilanz, in das Domleschg, untere Schanfigg und Prättigau ein.

Um 07 h trennt die Höhe 920 m ü.M. das ganze Kollektiv in zwei Hälften (Medianwert); bis 16 h ist dies auf 1340 m ü.M. der Fall. Hierin widerspiegelt sich das Mass des tagesperiodischen "Ein- und Ausatmens" der bergnahen Atmosphäre im Jahresdurchschnitt. Im Winter reduziert sich diese Höhenspanne auf 50 bis 100 m, im Sommer dehnt sie sich auf 600 bis 900 m aus (immer aufgrund der besonders nachmittags und im Sommer in Hangnähe die Sperrschicht etwas überragenden Obergrenzen der Wolkenballen, s.a. H. Hauer 1950, S. 106). Nachmittags dringen daher Wolkenfelder oft weiter in die Täler hinein.

Das Unterengadin wird bisweilen vom winterlichen Bisenhochnebel aus dem oesterreichischen Oberinntal überdeckt. Bei darüber klarem Wetter liegt seine Obergrenze bei 1500 bis 1700 m ü.M. und kann in seltenen Fällen den ganzen Tag anhalten. Ins Oberengadin können Hochnebefelder aus dem Bergell übergreifen, sofern ihre Obergrenzen über 2000 m ü.M. liegen.

Die im nördlichen Alpenvorland bekannten photogenen winterlichen Rauhreifansätze im Hochnebel treten mangels stärkerer Winde und dank geringeren Gehaltes an unterkühltem Wasser kaum in Erscheinung.

6.4 Nebelwindrosen

Neben den bei schönem und windschwachem Wetter entstehenden Strahlungsnebeln über den Niederungen nachts und am frühen Morgen, sind die windverfrachteten Schlechtwetternebel für Hang- und besonders Gipfellagen charakteristisch. Bei positiven Wärmegraden wirken diese Nebel benetzend (Nebeltraufe an Bäumen als Beispiel). Bei Frost geben sie indessen zu gefährlichen Eisansätzen (Rauhreif, Rauhrost) Anlass, deren Grösse und Gewicht proportional zur Windstärke und zum unterkühlten Wassergehalt anwächst (s. Tab. 31).

Tab. 30

Häufigkeit der Windrichtungen bei gleichzeitigem Nebel in Prozenten aller Fälle mit Nebel zu den drei Beobachtungsterminen, Programm H. Bantle, MZA.

Wind aus	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	still	Tage/Jahr
Chur 1959-1970										
0730 h	4	4	-	-	2	-	-	-	90	4.4
1330 h	8	8	-	-	-	-	-	8	66	1.0
2130 h	4	-	-	-	4	4	-	-	88	2.1
Davos 1941-1970										
0730 h	17	35	-	-	-	-	4	-	44	0.8
1330 h	60	20	20	-	-	-	-	-	0	0.2
2130 h	34	16	3	-	3	-	-	3	41	1.1
Weissfluhjoch 1959-1970										
0730 h	6	2	6	9	7	7	42	18	3	94.5
1330 h	2	2	8	11	6	8	43	18	2	82.0
2130 h	6	-	8	8	5	9	41	20	3	116.1

Kommen Nebel in der Talsohle meist bei Windstille oder sehr schwachen Winden vor, tritt das Gegenteil auf den Bergen ein. Generell dominiert die Tal- oder Hangaufwindkomponente, dies besonders nachmittags und bei Stauwetterlagen, die in Nord- und Mittellbünden aus dem Sektor West bis Nord anströmen.

Zur Abschätzung der Stärke der oben in 6.4 angeschnittenen Nebelfrostablagerungen ist für das Weissfluhjoch eine Aufspaltung in Windstärkeklassen bei Nebel erfolgt (Tab. 33).

Tab. 31

Windstärkeverteilung bei gleichzeitigem Nebel auf Weissfluhjoch, 1959-1970, in Prozenten aller Nebelfälle, ohne Rücksicht auf die herrschende Lufttemperatur (es sind also auch positive Wärmegrade hier enthalten), Programm H. Bantle, MZA.

Windstärkegrad Windgeschwindigkeits- bereich in km/h	still unter 3	leicht 3-12	mässig 13-26	stark 27-45	stürmisch 46-65	Sturm über 66
Häufigkeit in %	2.8	24.6	39.4	24.8	7.1	1.3

Total 3511 Nebelfälle auf 13'149 Terminbeobachtungen = 26.7 % Häufigkeit.

85 % aller Stark- oder Sturmwinde mit Nebel kommen aus dem Sektor WNW bis N. Allerdings bleiben auf dem inneralpinen Weissfluhjoch die Eisanlagerungen bedeutend unter denjenigen des Alpenrandes, wie z.B. auf dem Säntis (s.a. D. Melcher 1951). Lediglich anfrierender Nassschnee erzeugt auch hier gefährliche Ansätze.

7. DER NIEDERSCHLAG

7.1 Die Niederschlagsmenge

Aus dem reichhaltigen Material im Tabellenwerk, Abschnitt E-1 sind nachfolgend einige Profile durch Graubünden herausgegriffen.

7.1.1 Der Jahresgang der Niederschlagsmenge

Tab. 32

Mittlere Niederschlagssummen pro Jahreszeit und Jahr, Periode 1931-1960, in mm, Querprofil Nord - Süd.

Station	Höhe m	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Kreuzlingen	446	110	102	121	209	928
Weesen	430	313	262	610	389	1699
Sargans	510	216	130	415	294	1285
Chur	586	160	161	304	204	811
Tschiertschen	1340	180	210	399	245	1030
Arosa	1864	255	188	317	304	1324
Tiefencastel	822	120	117	377	202	806
Savognin	1205	141	189	352	238	925
Bivio	1770	300	261	393	317	1173
Sils/Segl i.E.	1802	153	192	367	282	1031
Vicosoprano	1065	191	238	486	407	1428
Bellinzona	230	134	376	505	441	1506
Brissago	280	094	583	694	680	2198
Milano	103	181	200	215	287	903

Ob man den inneralpinen Kanton Graubünden von Norden (Tab. 32 oben) oder von Süden (unten) her betritt, immer durchquert man vorerst eine niederschlagsreiche Alpenregion (s. Sp. 6) sowohl der Nordalpenkette (Pizol) und der Südalpenkette (Bernina - Rheinwald) finden wir auch in den Hochtälern Beträge, die denjenigen der den Alpen vorgelagerten Niederungen entsprechen.

Tab. 33

Mittlere Niederschlagssummen pro Jahreszeit und Jahr, Periode 1931-1960,
in mm, Schrägprofil Nordwest - Südost.

Station	Höhe m	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Zürich MZA	569	209	253	410	264	1136
Wäggital-Vordertal	760	359	408	680	404	1861
Elm	962	337	327	544	379	1587
Flims	1085	278	254	393	296	1221
Tomils	790	150	162	324	218	854
Filisur	1030	139	163	333	214	849
Bever	1712	134	159	305	221	819
Bernina-Hospiz (p)	2256	313	375	410	461	1559
Brusio	840	131	203	334	269	937
Edolo (I)	690	132	215	306	293	945
Lago Baitone (I)	2258	130	241	460	355	1185
Tione di Trento (I)	563	182	308	317	376	1182
Peschiera (Garda) (I)	67	147	202	184	223	756

Edolo 12 km im ESE von Tirano; L. Baitone 7 km ESE von Edolo (p) = provisorische
Mittel

Im NW-SE-Profil wird die inneralpine Trockenkammer grösser. Die breitere Alpen-
südabdachung mit zusätzlichen Alpenlängstälern schwächt die Südstauwirkung
gegenüber der steileren Südflanke im Nord-Südprofil (Tab. 33).

Tab. 34

Mittlere Niederschlagssummen pro Jahreszeit und Jahr, Periode 1931-1960, in mm, Längsprofile West - Ost
Italienische und österreichische Daten aus F. Fliri 1975 (Tab. 32 bis 34).

Station	Höhe m	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
a) <u>Nordteil</u>						
Guttannen	1058	362	404	509	413	1688
Sedrun	1418	267	264	367	329	1227
Ilanz	715	190	183	309	238	926
Davos	1561	212	191	391	224	1018
Klosters	1200	295	279	454	296	1324
Scuol/Schuls	1253	131	122	261	181	695
Reschen (I)	1494	113	122	258	169	663
Vent (A)	1896	127	139	268	165	699
Obergurgl (A)	1950	146	147	311	203	807
b) <u>Südteil</u>						
Airolo	1167	279	393	483	521	1676
Olivone	930	212	335	449	421	1417
Vals	1290	181	229	372	302	1056
Andeer	980	132	194	373	257	956
Savognin	1205	146	189	352	238	925
St.Moritz	1832	129	154	299	227	809
Bormio (I)	1225	85	140	266	199	690
Sta.Maria	1411	113	151	278	207	749
Glurns (I)*	915	57	77	182	126	442
Schlanders (I)	706	61	90	198	137	485
Meran (I)	319	91	158	246	207	703
Brixen (I)	560	68	129	279	166	641

* unvollständige Reihe

Aus den Tab. 32 bis 34 und Fig. 9-11 lassen sich folgende jahreszeitliche Charakteristika ansehen (s.a. F. Fliri 1975 und Bd 1/N Nr. 721).

Winter

Die Alpenabdachung weist das Niederschlagsmaximum auf, als Ausdruck der Dominanz der advektiven West- und Nordlagen (Stau). Je mehr Gebirgsketten diese feuchten Meereswinde überschreiten müssen, desto mehr wurde der verfügbare Hebungs-niederschlag ausgeschieden. Tief eingeschnittene Täler, wie bereits das untere Vorderrheintal (Ilanz), das Domleschg (Tomils), Schams (Andeer), Albulatal (Tiefencastel, Filisur), Engadin, Münstertal und am

ausgeprägtesten im anschliessenden Vinschgau (Glurns, Schlanders, auch noch Meran) und am Ostende im Eisacktal (Brixen). Die beiden letzten Talschaften gehören zum wintertrockensten Raum der Alpen. Eine erstaunlich gleichförmige Wintermenge erhalten östlich und südöstlich der Albulakette auch die Hochtäler (um 130 mm); die tieferen Tälern bereits östlich des Hinterrheins. Gegenüber mehr als 300 mm in Staugebieten der Nordalpen, sind diese Beträge unter 150 mm ausgesprochen niedrig und beeinflussen dementsprechend die Mächtigkeit der Winterschneedecke (Kap. 7.4). Der Winter ist nicht die Saison häufiger Süd-staulagen, wodurch die Niederschlagswerte der Alpensüdabdachung gegenüber der Nordflanke zurückbleiben.

Frühling

Die Alpensüdseite hebt sich markant aus ihrem Winterminimum. Im Nord-Südprofil (Tab. 32) überflügelt das Tessin die Alpennordseite. Jetzt herrscht die Frühlingsföhnzeit im Norden, Südstau im Süden. Ziemlich unberührt durch die Südstauniederschläge ist nebst Nord- und Mittelbünden auch bereits das Unterengadin. In einem Uebergangsbereich liegt das Oberengadin und der Vinschgau d.h. die Passzonen der Südalpenkette, an dessen Südfuss, im Piemont, der Mai dank beginnender Labilisierungen im Südstau der regenreichste Monat des Jahres ist.

Sommer

Der Sommer wirkt in Sachen Niederschlagsmengen ausgleichend. Wohl ist der Obervinschgau weiterhin die trockenste inneralpine Kammer, doch verdoppelt sich die Regenmenge gegenüber dem Frühling. Da gleichzeitig an beiden Aussenflanken der Alpen keine gleichartige Niederschlagsverstärkung sichtbar wird, können im Sommer nicht allein Advektionsvorgänge, sondern eigenbürtige Prozesse im Alpenraum selbst an der Regenbildung beteiligt sein. Die Ursache liegt im Konvektionsvorgang, der im Hochsommer öfters Schauer und Gewitter innerhalb der Alpen entstehen lässt (s.a. Kap. 8). Die subtropische Mittelmeertrockenheit des Sommers beginnt sich erst in der oberitalienischen Tiefebene auszuwirken (s. Mailand und Peschiera am Südende des Gardasees). Der Sommer ist die niederschlagsreichste Jahreszeit des inneren Alpenraumes. Dies gilt, im Gegensatz zum Süden, auch für das nördliche Alpenvorland, da dort zur Konvektion noch sommermonsunartig vermehrte West- und Nordwindlagen

mit zusätzlichen Stauwirkungen hinzu kommen. Besonders im NW-SE-Schnitt (Tab. 33) wirkt sich diese Regenfangfunktion der Schwyzer- und Glarneralpen aus.

Ihr Ergebnis ist, dass vom Wäggital bis ins Domleschg (Tomils) die Regenmenge auf die Hälfte fällt. Im nördlichen West-Ostprofil (Tab. 34) weist auch die Albulakette auf eine ähnliche Wirkung hin (vgl. Klosters und Scuol). Da dabei im Engadin gelegentlich Regenmangel auftreten kann, sind diese von Norden her übergreifenden, wenn auch abgeschwächten Niederschläge besonders im Juni willkommen; heisst es doch dort: "Der Juni hat 30 Tage, würde es sogar an 31 Tagen regnen, so würde dies (den Feldern) nichts schaden" (H. Lössli 1944).

Herbst

Der Herbst erscheint als Spiegelbild des Frühlings. Nördlich der Südalpenkette ist es die milde Zeit des Herbstföhns. Im Süden davon breiten sich die Herbstregen des nördlichen Mittelmeerraumes aus, die den Oktober, z.T. erst den November an der Alpensüdabdachung zum regenreichsten Monat des Jahres gestalten (Bd 1/N Nr. 232). Mengenmässig nehmen die hohen Beträge am Alpensüdfuss bereits auf der Südflanke alpeneinwärts ab, da die labilen, mehrere Bergketten und Taleinschnitte überfahrenden Konvektionsregen, schon im September nicht mehr die sommerliche Aktivität aufweisen. So melden bereits die noch südföhnefreien Täler des Vinschgau und des Oberengadin gegenüber dem Sommer deutlich niedrigere Ergiebigkeiten.

Jahr

Mit Mengen unter 800 mm ist die Talsohle des Unterengadins und des Münster-
tales am trockensten. Dieses Kantonsminimum ist als Randpartie des Trocken-
zentrums des Vinschgau (Venosta), am Oberlauf des Etsch, aufzufassen, wo
Jahressummen unter 500 mm vorkommen (Glurns/Glorenza 422 mm, Schlanders/
Silandro 485 mm; z.vgl.: Minimum im Mittelwallis 1931-60 Varen ob Siders
585 mm; im dichteren Netz für 1901-1940: Varen 580 mm, Minimum jedoch in
Ackersand bei Stalden mit 530 mm, ob Visp). Wie die Tab. 32-34 zeigen, stehen
diese inneralpinen Trockenkammern mit der Mittelmeertrockenheit nicht in
geographischer oder klimatischer Verbindung. Mit 800-900 mm immer noch weit
unter dem schweizerischen Landesmittel bewohnter Gebiete von 1250 mm, liegen
die Täler Mittelbündens und das mittlere Vorderrheintal. Trichterförmige
Stautäler, die in Richtung der anströmenden Regenwinde verlaufen, sind wesent-

lich niederschlagsreicher, wie z.B. das mittlere und obere Prättigau, ebenso die nach Norden offene, hoch gelegene Bergschale von Arosa. Auf der Südseite ist das Bergell den Südstauniederschlägen zugänglicher als das quer hiezu gerichtete Puschlav oder gar Münstertal.

Die hauptsächliche Wetterlage, die auch über den Trockenkammern unseres Gebietes ergiebige Niederschläge geben, also auch das Unterengadin, das Münstertal und den Vinschgau erfassen, ist ein sich nur langsam bewegendes hochreichendes Tiefdruckgebiet mit Zentrum über den Alpen selbst oder etwas südlich hiervon, d.h. über der Poebene/Golf von Genua - Dolomiten/Golf von Venedig. In der Höhe werden feuchte Südwinde über die Alpen getrieben, darunter, so ca. bis 3000 m ü.M. besteht ein Nordstau, so dass kein Winkel des Kantons trocken bleibt. Auch scharfe, langsam ostwärts wandernde Tiefdrucktröge erzeugen eine ähnliche Schlechtwetterlage.

7.1.2 Die Höhenabhängigkeit der Jahressumme

Dieser wiederholt angeschnittenen Frage sei auch hier aufgrund einiger Stationskombinationen in Graubünden nachgegangen. Wir beschränken uns hier auf das täglich bediente Stationsnetz, da die Totalisatorenmessungen zu stark von lokaltopographischen Eigenheiten geprägt sein können und zudem häufig auf Pass- und Gipfelstandorten montiert sind, auf welchen sich verschiedene Niederschlagsregime treffen oder überschneiden (Tab. 35 und Fig. 9-11.

Tab. 35

Höhenabhängigkeit der Jahressumme der Niederschläge innerhalb einheitlicher Einzugsgebiete, Doppelperiode 1901-1960 (Stammdaten MZA, Annalen ab 1971, Anhg. 3).

Station	Höhe m	Nied. mm	+ mm/100 m
Cnur	586	540	
Tschiertschen	1340	1076	31.3
Arosa	1847	1330	50.1
Zernez	1470	807	
Buffalora	1968	979	34.5
Sta.Maria	1411	749	41.3
Campocologno	535	890	
Brusio	840	932	13.8
Robbia-Poschiavo	1078	1056	52.1
Cavaglia	1706	1250	30.9
Ried i. Oberinntal	878	612	
Serfaus	1427	840	41.5
Hochserfaus	1806	972	34.8

(3 Stat. Nordtirol aus F. Fliri 1975 S. 384/385 für 1931-1960)

Zwischen 500 und 2000 m ü.M. erhalten wir unter Ausschluss von Kamm- und Gipfellagen einen Richtwert der Niederschlagszunahme von 35 mm pro 100 m Anstieg für das ganze Jahr. H. Uttinger (Bd 1/N Nr. 656) gibt ein Gesamtmittel für die Schweiz von 44 mm, Lauscher (1976) für Oesterreich ein solches von 33 mm. Der Höheneinfluss ist im Winterhalbjahr infolge verstärkter Advektion grösser. Im Sommer überziehen hochreichende Gewitterzüge Berg und Tal ziemlich ungestört und beregnen Höhen wie Tiefen recht gleichmässig (M. Wagner 1964). Sobald von den inneralpinen Tälern zum Kammbereich aufgestiegen wird, d.h. in den Höhenbereich zwischen rund 2000 und 3500 m ü.M., verdoppelt sich die Niederschlagszunahme auf 70 bis 100 mm pro 100 m Anstieg (s.a. H. Tollner 1952); umgekehrt ist es jedoch innerhalb der Stauräume der Alpennord- und südabdachung, wo über hunderte von Höhenmetern praktisch konstante Mengen niedergehen, wie z.B. im Vorarlberg (F. Lauscher 1976). Ueber die Existenz einer Höhenzone maximaler Niederschlagssummen in den Alpen äussern sich u.a. D. Havlik (1969), F. Lauscher (1976), H. Tollner (1952) und H. Uttinger (1951 Bd 1/N Nr. 656). Allgemein wird über den Ostalpen der Bereich

zwischen 3500 und 4000 m ü.M., d.h. 500 bis 1000 m über der mittleren Gipfelhöhe, als Maximalzone betrachtet. Für die Westalpen berechnete D. Havlik (1969) mindestens 3500, aber weniger als 4500 m ü.M. Dies wird aufgrund der Auswertung von Flugberichten auf der Strecke Zürich-Mailand erhärtet: bereits rund 20 % aller niederschlagsbringenden advektiven Wolken (Alto- und Nimbostraten) übersteigen mit ihren Obergrenzen die Höhe von 5500 m ü.M. (gut 2000 m über der zentralalpinen Gipfelflur) nicht mehr (s. bei M. Schüepp 1958, Abb. 6, Bd 1/N Nr. 561). Hinzu kommt der mit der Höhe abnehmende Gehalt niederschlagsfähigen Wassergehaltes der Troposphäre (D. Havlik 1969).

7.1.3 Die Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen

Die zeitliche Niederschlagsvariabilität ist grösser als bei anderen meteorologischen Elementen. Die Extremwerte beeinflussen daher den Wasserhaushalt empfindlich und damit auch die Vegetation und Landwirtschaft. Die unsymmetrische Häufigkeitsverteilung (Rechtsschiefe) benötigt zudem Hinweise auf den Zentralwert und ausgewählte Quantile (H. Uttinger, in Bd 1/E-4).

Tab. 36

Veränderlichkeit der Niederschlagsmengen 1901-1960, arithm. Mittel, Zentralwert und Quantile für Davos-Platz in mm, zusätzlich Schwankungsbereich Maximum/Minimum.

Intervalle	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Mittel	201	193	391	222	1007
Minimum	68	108	250	87	691
1. Duodezil	108	118	290	133	823
unteres Quartil	137	156	333	175	914
Zentralwert	182	184	388	207	981
oberes Quartil	242	224	438	253	1115
11. Duodezil	335	280	499	339	1200
Maximum	456	363	538	464	1370
Schwankungsbereich	6.71	3.36	2.15	5.33	1.98

Persistente Hochdruckgebiete im Herbst und Winter mit ausgeprägter Trockenheit erhöhen die Spanne zwischen Höchst- und Tiefstwert. Die massgebende Vegetationsperiode (Frühling und Sommer) verhalten sich dank des unbeständigeren Wettercharakters unseres Klimas weniger extrem (Bd 1/N Nr. 329). So ergab eine Auszählung für Zürich für die 112 Jahre 1864 bis 1975 im Winter 112, im Herbst 89 Fälle mit mindestens 10 aufeinanderfolgenden niederschlagsfreien Tagen, dagegen nur 69 und 61 Fälle im Frühling bzw. Sommer.

Tab. 37

Schwankungsbereiche (Maximum/Minimum) einiger Jahreszeiten- und Jahressummen für den Zeitabschnitt 1901-1960.

Station	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Chur	9.88	3.77	2.53	5.01	2.14
Arosa	4.37	2.58	2.29	3.58	1.99
Davos	6.71	3.36	2.15	5.33	1.98
St. Moritz	11.68	7.61	2.80	6.29	2.79
Scuol/Schuls	7.51	3.93	3.18	5.99	1.97
Brusio	10.13	5.27	3.27	12.69	3.56
Vicosoprano	12.38	5.58	3.74	11.79	3.18

Die inner- und südalpine grosse Spanne im Herbst und Winter ist vor allem extremer Trockenheit zuzuschreiben. Besonders andauernde winterliche Westwetterlagen mit eingelagerten Nordstau- und Hochdruckphasen verursachen ein Manko; häufige ergiebige mediterrane Herbst- und Winterregen mit Südstau einen Ueberschuss.

7.1.4 Der Tagesgang des Niederschlages

Aus Bünden liegen hierüber keine Auswertungen vor. Als Richtwert für Nord- und Südbünden kann eine Auswertung von Registrierstreifen von Altdorf/Uri und Locarno-Monti dienen (Tab. 38).

Tab. 38

Mittlere Anzahl Stunden mit Niederschlag pro Jahr innerhalb der einzelnen Stundenintervalle für Altdorf, 1964-1973 (Auszählung M. Bouët) und Locarno-Monti, 1936-1960 (Bd 1/N Nr. 016) sowie Jahrestotal hiefür und für Zürich (Bd 1/N Nr. 659). Bedingung: Tagestotal mindestens 0,3 mm.

Stunden (h):	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	SUM Tag
<u>Altdorf</u>														
April-Sept.	31	29	30	31	30	30	29	28	28	26	20	18		
Okt.-März	24	24	24	25	26	27	27	24	23	24	22	20		
Stunden (h):	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
April-Sept.	18	19	22	23	28	33	35	37	36	36	34	33		685
Okt.-März	17	19	18	19	20	21	23	22	22	22	21	24		539
Jahr/(h):	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Altdorf	55	53	53	56	57	58	56	52	51	49	42	38		
Locarno	48	46	46	46	46	46	45	45	43	43	42	41		
Jahr/(h):	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Altdorf	36	38	40	42	49	54	58	59	58	58	55	57		1224
Locarno	40	41	41	41	42	44	45	45	46	47	46	48		1064

Jahrestotal:	Stunden	Summe mm	Anzahl Tage ab 0,3 mm
Zürich	1134	1058	159
Altdorf	1224	1218	160
Locarno	1064	1813	116

Wie in Altdorf wird auch in Locarno der Tagesgang der Regenstunden durch die konvektive Sommerzeit geprägt. Im Winter erzeugen advektive Aufgleitungs-niederschläge (z.B. Warmfronten) vormittags ein flaches Maximum. Auf dem süd-bayrischen Hohenpeissenberg in 1000 m ü.M. liegt das sommerliche Minimum mengenmässig zwischen 10 und 13 h, wogegen die Stunden zwischen 18 und 21 h am ergiebigsten sind (R. Aniol 1972).

7.1.5 Die Starkniederschläge

Aus Tab. 40 unten lässt sich ein Quotient aus Niederschlagssummen und Dauer errechnen. Am Alpensüdfuss ist dieser mit 1,70 mm/Std deutlich höher als mit knapp 1 mm/Std im Norden. Pro Niederschlagstag lauten die Werte 15.6 gegen 7.6 mm, also sogar 2 zu 1. Die gegenüber dem Norden steilere Südflanke der Alpen, der höhere absolute Wasserdampfgehalt der im Süden wärmeren Luft und die geringere Distanz zum Meer prädestinieren im Süden die Entstehung von Starkregen (Tab. 39).

Tab. 39

Mittlere jährliche und absolute Maxima der grössten Tagesmengen 1864-1930 nach H. Uttinger (1932, Bd 1/N Nr. 646), sowie absolute Maxima 1941-1974, in mm.

Ort	Chur Davos Splügen			Scuol Bever Sils			Platta Bernh.pass		Locarno Lugano	
Mittel	51	48	99	43	53	53	86	123	116	102
Absolut	93	90	233	72	109	91	156	254	178	263
Absolut 1941-74	95	86	168	72	81	91	152	-	268	173

Die "Trockeninsel" des Unterengadins weist die kleinsten Beträge auf. Die dort recht hoch liegenden Untergrenzen niederschlagserzeugender Wolken, sowohl bei Tiefdruck- und Staulagen (2000-2500 m ü.M.) wie besonders bei konvektiven Schauern und Gewittern (3000-3500 m ü.M.) schliessen extrem hohe Wassergehalte, im Gegensatz zu den Niederungen, aus. Diese Eigenart hat das Engadin mit dem Mittelwallis gemeinsam ähnlich liegt auch das zentrale Mittellbünden, das Münstertal und das Puschlav. Dies kommt auch in den mehrtägigen Grossniederschlägen zum Ausdruck (Tab. 40).

Tab. 40

Höchste Ein- Zwei- und Fünftagesummen 1901-1970 nach J. Zeller (1976), in mm

Station	Höhe m	Ein Tag mm Datum	Zwei Tage mm Datum	Fünf Tage mm Datum
Sils/Segl i.E.	1802	91 15. 5.26	134 6.- 7.11.06	201 29.- 2.11.26
Bever	1710	90 15. 5.26	115 15.-16. 5.26	167 29.- 2.11.26
Susch/Süs	1430	81 21. 8.54	110 2.- 3.12.36	123 1.- 5.12.36
Scuol-Ramosch	1268	72 27. 7.20	99 2.- 3.12.36	123 1.- 5.12.36
Martina	1034	72 17.11.39	93 16.-17.11.39	128 16.-20.11.39
Sta.Maria	1408	99 16. 9.60	112 23.-24. 9.18	158 29.- 2.11.26
Brusio	840	107 9.12.54	133 9.-10.12.54	190 19.-23. 9.20
Vicosoprano	1065	158 16. 9.60	223 30.-31.10.26	349 29.- 2.11.26
Soglio	1100	119 16. 9.60	171 1.- 2.11.68	274 29.- 2.11.26
S. Bernardinpass*)	2073	191 21.10.28	314 21.-22.10.28	474 18.-22. 9.20
*) 1901-1953		(254 28. 9.1868)		
Mesocco	815	127 9.12.54	196 9.-10.12.54	280 11.-15. 2.25
Grono	380	143 20. 8.20	204 19.-20. 8.20	321 7.-11.11.51
Platta/Medel	1375	156 17. 6.18	237 16.-17. 6.18	267 15.-19. 6.18
Arosa	1821	136 8. 8.51	148 8.- 9. 8.51	193 18.-22. 9.20
Klosters	1200	120 9. 1.14	160 9.-10. 1.14	206 22.-26.12.54
Chur	596	95 19. 6.48	122 9.-10. 9.65	136 9.-13. 8.57
Tiefencastel	826	86 15. 7.22	118 29.-30. 8.08	154 18.-22. 9.20
Filisur	1030	82 30. 8.08	130 29.-30. 8.08	147 19.-23. 9.20
Davos	1588	90 9. 1.14	132 19.-20. 1.51	196 17.-21. 1.51

Der inneralpine Intensitätsabfall äussert sich hauptsächlich in den mehr-tägigen, ununterbrochenen Niederschlagsperioden. Für Davos und Chur liegt eine Aufteilung in Gesamtniederschlag (Regen plus Schnee) und nur Regen vor.

Davos zeigt bei nur Regen lediglich eine 2/3-Intensität gegenüber Tab. 40, bei Chur stehen dagegen Sommertermine im ersten Rang. Im Süden und Engadin sind Herbst- und Wintersüdstaulagen über mehrere Tage am ergiebigsten.

7.2 Die Niederschlagshäufigkeit

7.2.1 Der Jahresgang

Die Anzahl der Tage mit Niederschlag gibt Auskunft über die Niederschlagsbereitschaft oder -wahrscheinlichkeit für eine vorgegebene Zeitspanne. Als hierzu erforderliche Minimaltagesmenge wird 0.3 mm (0.01 Zoll) festgelegt, international häufiger 1.0 mm. Da gemäss Tab. 38 bereits eine Niederschlagsstunde rund 1 mm Wasserhöhe ergibt, stellen die genannten unteren Grenzwerte zur Definition eines Tages mit Niederschlag noch keinen "verregneten" Tag dar. Je nach der Art und dem jahresperiodischen Stand der Vegetation können auch 2 oder sogar 5 mm als Tageswert für den Wasserhaushalt der Pflanzendecke belanglos sein (Bd 1/N Nr. 329). Benetzungs- und Verdunstungsverluste zwischen den nur einmal täglich durchgeführten Niederschlagsmessungen lassen Statistiken mit Tagesbeträgen von 1 mm und weniger als nicht gesichert erscheinen (B. Sevruck 1974).

Tab. 41

Mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 1.0 mm, Periode 1931-1960, Querprofil Nord - Süd (Bd 1/E-11, F. Fliri 1975).

Station	Höhe m	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
Kreuzlingen	440	31	30	36	29	126
Weesen	430	32	34	45	31	142
Chur	586	23	24	36	24	107
Arosa	1864	32	35	45	31	143
Tiefencastel	822	18	22	34	23	97
Bivio	1770	31	34	39	32	136
Vicosoprano	1065	18	29	35	26	108
Brissago	280	18	28	29	26	101
Milano	103	22	23	19	20	84

Alpennordseite und Alpen verhalten sich ähnlich zur Niederschlagsmenge (Tab. 32-34). Dem hohen Mengenwert der Alpensüdseite entspricht jedoch ein auffallend geringer Häufigkeitswert, was ja bereits in Kap. 7.1.4, Tab. 38 bei den Stundensummen zum Ausdruck kam. Die Jahressummen der Tage ab 0.3 mm liegen nördlich der Alpen um 30, in den Alpen um 20-25 und im Tessin um 15 Tage über denjenigen für 1.0 mm Mindestbetrag.

Tab. 42

Mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag von mindestens 1.0 mm, Periode 1931-1960, Längsprofile West - Ost; (Bd 1/E-11, Ergänzungen Ausland in F. Fliri 1975).

Station	Höhe m	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Jahr
a) <u>Nordteil</u>						
Guttannen	1052	31	35	44	33	143
Sedrun	1418	29	31	38	31	129
Ilanz	715	24	24	35	26	108
Davos	1561	26	28	42	27	123
Scul/Schuls	1253	21	22	34	23	100
Vent (A)	1896	23	26	40	26	115
b) <u>Südteil</u>						
Airolo	1167	26	32	34	31	123
Vals	1290	22	27	36	27	112
Savognin	1205	23	24	36	25	108
St.Moritz	1832	22	24	33	24	103
Sta.Maria	1411	17	21	31	22	90
Schlanders (I)	706	10	16	28	18	73
Brixen (I)	560	13	21	32	20	86

Noch deutlicher als bei der Regenmenge nähern sich die inneralpinen Trocken- zonen im Sommer den Alpenrandzonen. Dank der wolkenärmeren Witterung ent- stehen ungehinderter von Advektivvorgängen am Alpenrand Aufwindschläuche (Thermikblasen), welche zu nachmittäglichen Schauern oder Gewittern Anlass geben (s. Kap. 8.3). Frühling und Herbst stellen dort Uebergangsjahreszeiten mit Advektionen aus Süden oder Tiefdrucklagen über den Alpen dar, welche im Winter in den Hintergrund treten.

7.2.2 Die Höhenabhängigkeit der Niederschlagshäufigkeit

Innerhalb der einzelnen Flussgebiete ergibt sich pro 100 m Anstieg eine Zunahme der jährlichen Zahl der Tage mit Niederschlag von 2 Tagen (meist 1 bis 3 Tage) oder um 2 Prozent des Jahrestotals. Der Grund liegt im abnehmenden Abstand des höher gelegenen Messortes von der Wolkenuntergrenze, wodurch sich bei schwachen Niederschlägen oder bei kurzdauerenden Spritzern weniger Verdunstungsverluste ergeben als bei einer tiefer gelegenen Station. Gesamtschweizerisch dominiert unterhalb 2000 m-ü.M. eine Zunahme von 1 Tag pro 100 Höhenmetern Anstieg.

7.3

Die Niederschlagswindrosen

Von 12 Jahren (1959-1970) liegen Auszählungen über die Windverteilung bei gleichzeitigem Niederschlag zu den 3 Beobachtungsterminen vor (Tab. 43).
Nebst Hinweisen für die Neuschneeverfrachtungen und Schlagregen gegen Wände (Hausfassaden) spiegeln sich hier, besonders an frei gelegenen Stationen, witterungsklimatologische Eigenheiten wider.

Tab. 43

Zuordnung der Termine mit Niederschlag auf die 8 Hauptwindrichtungen, unterteilt in 4 Stärkegrade:

still = unter 3 km/h, leicht = 3-12 km/h, mässig = 13-26 km/h, stark = ab 27 km/h mittlere Windgeschwindigkeit; 1959-1970,

Programm H. Bantle MZA. In Klammern: Anzahl Niederschlagstermine in 12 Jahren.

Stärke/Richtung aus Station	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	SUM
Chur									
still	13.6	8.6	4.5	2.9	7.7	9.0	3.0	3.4	52.7
leicht	13.2	6.0	1.7	0.8	4.0	1.8	1.0	1.8	30.3
mässig	7.0	2.7	0	0.3	1.7	0.3	-	0.2	12.2
stark	2.5	0.8	-	-	0.9	0.2	-	-	4.4
%/(Termine)	36.3	18.1	6.2	4.0	14.3	11.3	4.0	5.4	(1249)
Davos									
still	6.6	3.1	3.1	0.5	2.2	0.4	0.7	0.3	17.1
leicht	47.0	4.4	4.2	3.0	3.3	1.8	5.0	6.2	79.4
mässig	2.0	0.3	0.4	-	0.2	-	0.1	0.1	3.1
stark	0.2	0.1	-	-	-	-	-	-	0.3
%/(Termine)	55.3	8.1	7.7	2.8	11.2	2.2	5.8	6.6	(1844)
St. Moritz									
still	6.1	18.0	1.6	0.1	8.9	15.0	2.5	8.2	67.2
leicht	1.3	2.1	0.3	2.3	4.5	5.0	3.2	2.0	20.2
mässig	6.3	0.8	0.2	1.0	1.3	2.6	0.2	1.3	8.7
stark	0.2	0.1	-	0.4	0.3	0.9	0.1	1.2	3.7
%/(Termine)	6.8	19.0	2.0	11.0	16.3	25.0	4.0	13.5	(1177)
Weissfluhjoch									
still	1.2	0.0	0.4	0.4	0.1	0.1	0.4	0.4	2.0
leicht	1.5	0.4	4.7	4.7	3.0	2.0	5.2	3.6	25.1
mässig	1.7	0.1	4.3	6.4	3.1	2.8	15.6	5.2	39.7
stark	0.5	0.0	2.1	1.4	1.2	2.6	20.0	5.4	33.2
%/(Termine)	3.9	0.5	12.0	12.9	7.4	7.5	41.2	14.6	(3120)

Nördlich der Albulakette dominieren die Niederschläge bei gleichzeitigem Talaufwind. Bei Talabwind (Bergwind, Föhn) sind gelegentlich gleichzeitig Niederschläge möglich (übergreifender Südtau) oder bei intensiven Westwindlagen; kurzzeitig können auch Gewitterherde etwas flussaufwärts Talabwindstösse

erzeugen. Im Oberengadin überwiegen die Winde aus Süd bis West bei Niederschlag (im Unterengadin aus Westen via Flüela-Susch); aber auch bei Nord- und Ostwinden sind gleichzeitig Niederschläge möglich (Gegenstromlage mit Nord unten und Südwind oben bei einem Tiefdruckzentrumsdurchgang wenig südlich der Alpen).

Auf dem Weissfluhjoch überwiegt erwartungsgemäss der Nordwest als Schlechtwetterwind (vgl. Tab. 30 Nebel und Wind). Uebergreifende Südstauniederschläge oder auch Warmfrontniederschläge treten deutlicher als in den Tälern in Erscheinung und sind nicht vernachlässigbar. Wesentlich ist die eindruckliche Häufigkeit von Starkwinden bei Niederschlag; fast 2/3 dieser Starkwinde kommen aus dem Nordwestsektor.

7.4 Die Schneefälle

7.4.1 Die Neuschneemengen

Die Neuschneehöhen werden täglich um 0730 h gemessen und über den Winter aufsummiert. Aus Messungen im temporären Beobachtungsnetz des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung auf Weissfluhjoch/Davos (EISLF) wurde aus 20 Wintern die Tab. 44 erstellt.

Tab. 44

Wintersummen der täglich um 0730 h gemessenen Neuschneehöhen, aufsummiert über die 6 Monate November bis April, Winter 1950/51 bis 1969/70; Mittel der 20 Winter, Werte für den schneefallreichsten und schneefallärmsten Winter, sowie Verhältniszahl Maximum/Minimum.

Station	Höhe m	Mittel cm	Maximum cm	Minimum cm	<u>Max.</u> <u>Min.</u>
Obersaxen	1300	403	685	184	3.72
Davos	1560	450	735	279	2.63
Arosa	1818	650	1039	411	2.53
Weissfluhjoch	2540	713	1151	458	2.51
Zuoz	1710	500	698	212	3.29
Maloja	1820	581	1187	344	3.45
Bedretto TI	1400	616	1400	334	4.19

Ein hoher Schwankungsbereich (Max./Min.) weist im wesentlichen auf die Gefahr schneearmer Winter hin. Diese sind im Nordteil Bündens möglich: unterhalb 1000 m ü.M. in Schattlagen bzw. unter 1500 m in Sonnlagen. Im Engadin und im Süden können sonnige Lagen unter 2000 m gelegentlich schneearm bleiben. Im Süden sind exzessive Südtauwinter an einem grossen Variabilitätsgrad mitbeteiligt (z.B. Bedretto im Nordtessin). Ueber die Auswirkung markanter Schneefallwetterlagen siehe F. Prohaska (1943, Bd 1/N Nr. 490), sowie H.W. Courvoisier und P. Föhn (1975).

7.4.2 Die Schneefallwahrscheinlichkeit

Das Verhältnis der Anzahl Tage mit Schneefall oder Schnee und Regen gemischt zur Gesamtzahl der Tage mit Niederschlag ergibt die relative Schneefallhäufigkeit in Prozenten (Tab. 45).

Tab. 45

Schneefallwahrscheinlichkeit in %, 1931-1960, ergänzt durch eine Beurteilung der Schneefallmenge (Wasserwert) in Prozent des Gesamtniederschlages (Bd 1/E-11+12).

Station	Höhe m	Anzahl Tage mit Schneef.	Prozent aller N.tage	Mengenanteil (1959-1970)
Bad Ragaz	505	36	22	15
Chur	582	28	22	17
Seewis	953	57	35	-
Disentis	1162	-	-	35
Platta/Medel	1373	57	41	-
Splügen	1504	58	43	-
Davos	1561	78	51	43
Arosa	1864	93	56	46
Säntis	2500	142	75	65
Weissfluhjoch	2672	-	-	66
Vicosoprano	1065	25	20	17 1)
Segl/Sils	1807	57	49	40 2)
Bever	1712	64	50	36
Scuol/Schuls	1253	40	34	29

1) von Robbia-Poschivao, 1078 m ü.M.

2) von St. Moritz, 1845 m ü.M.

Eine hundertprozentige Schneefallwahrscheinlichkeit kann in Graubünden ab 3800 m ü.M. angenommen werden; für Oesterreich vergleiche auch F. Lauscher 1976

7.4.3 Die Mächtigkeit der Schneedecke (Schneehöhe)

Die Werte in Tab. 46 beziehen sich auf Messungen in beiden Netzen (MZA und EISLF, s.a. B. Federer 1971 Bd 1/N Nr. 200 und SLF-Bericht Nr. 521).

Tab. 46

Mittlere Schneehöhen ausgewählter Monate aus den Wintern 1949/50 bis 1967/68 (Auszählung M. Bouët), sowie mittlere und extreme, ebenso häufigste Schneehöhenmaxima nach F. Federer 1971 für 15 bis 20 Winter (Modus) in cm.

Ort	Höhe m	Schneehöhenmittel			Schneehöhenmaxima pro Winter					
		Dez.	Feb.	Apr.	Modus	Mittel	Min.	Jahr	Max.	Jahr
Landquart	526	6	14	0	40	47	10	1957	110	1968
Disentis	1170	27	52	5	-	96	28	1964	175	1951
Splügen	1460	33	63	20	77	102	38	1964	256	1951
Davos	1560	38	90	44	108	128	78	1964	225	1944
Arosa	1818	51	104	78	-	156	98	1964	237	1967
Weissfluhjoch	2540	95	177	210	227	248	168	1949	366	1944
Brusio	780	2	3	0	17	24	8	1958	60	1967
Cavaglia	1693	52	95	42	119	160	54	1952	370	1960
Bernina suot	2049	74	116	106	137	166	70	1949	270	1960
Maloja	1820	66	119	94	148	171	98	1953	299	1951
Zuoz	1710	36	70	18	76	90	30	1964	200	1951

Der Winter mit dem niedrigsten Schneehöhenmaximum war verbreitet der erste Innsbrucker Olympiadewinter 1963/64, das Maximum, vornehmlich im Süden, fiel auf den Lawinenwinter 1950/51. Im Durchschnitt erreicht die Schneehöhe ihren Höchstwert in Lagen unterhalb 1800 m ü.M. im Februar, zwischen 1800 und 2400 m ist es der März, darüber der April. Hierbei entstehen Schneelasten von 300 bis 400 kg/m², maximal 500-600 kg/m² in Tallagen. In Passlagen (Bernina-Maloja) können 800 bis 1000 kg/m² vorkommen (neutrale, ebene Lagen ohne Schneeverfrachtungen). Auf 2500 m ü.M. sind in einzelnen Wintern Lasten bis 1300 kg/m² möglich (Weissfluhjoch).

Die regionale Verteilung extremer Schneehöhen beschreibt Th. Zingg (1968, Bd 1/N Nr. 719). Demnach sind im 2000 m Niveau folgende Mächtigkeiten möglich:

- 220-240 cm: Domleschg, Schams, Unterengadin, unteres Oberengadin, rechtseitige Talhänge des Vorderrheintales zwischen Ilanz und Reichenau.
- 290-320 cm: Schanfigg, Prättigau, Maloja, ob Disentis, Splügen
- 350-400 cm: Berninapass-Südseite, hinterstes Rheinwald - Val Medel - Oberalp.

7.4.4 Zahl der Tage mit Schneedecke

Sofern morgens 0730 h der natürliche, horizontale Boden zu mehr als der Hälfte mit Schnee bedeckt ist, gilt er als Tag mit Schneedecke (Tab. 47).

Tab. 47

Zahl der Tage mit einer Winterschneedecke, Winter 1949/50 bis 1967/68, aufgrund der EISLF-Stationen, ergänzt anhand der permanenten MZA-Stationen auf das ganze Jahr (Auszählung M. Bouët).

Station	Höhe m	Nov.-April (max. 181 T.)	Jahr (365 T.)
Landquart	535	59	60
Disentis	1170	127	130
Splügen	1460	154	163
Davos	1560	165	175
Arosa	1818	173	194
Weissfluhjoch	2540	181	282
Brusio	780	34	35
Cavaglia	1693	166	182
Bernina suot	2049	177	216
Maloja	1820	174	197
Bever	1710	157 +)	-

+) 13.XI bis
18.IV

Aus H. Uttinger (1966, Bd 1/N Nr. 662) entnehmen wir als Ergänzung eine Quartilstatistik für die Schneedecke von Bever, um den Spielraum des Einschnei- und Ausaperungsdatums zu erkennen (S. 21 Tab. 8 Nr. 662).

Tab. 48

Schneedecke in Bever Winter 1900/01 bis 1959/60; Beginn und Ende der ununterbrochenen Winterschneedecke, ihre Dauer und die jeweils grösste Schneehöhe.

	Winterschneedecke			Grösste Schneehöhe	
	Beginn	Ende	Dauer (Tage)	cm	Datum
Mittel	14.XI	23.IV	161	102	25.II
Winter	1917/18	1941/42	1942/43	1941/42	1928/29
frühest/Min.	11.X	25.III	109	33	12.XII
Unteres Quartil	1.XI	12.IV	148	75	3.II
Zentralwert	11.XI	25.IV	165	100	1.III
Oberes Quartil	25.XI	3.V	176	124	21.III
Spätest/Max.	31.XII	20.V	204	220	15.IV
Winter	1921/22	1934/35	1917/18	1916/17	1931/32

7.4.5 Sommerschneefälle

Besonders der sommerliche Autotourismus kann nebst der Alpwirtschaft durch Sommerschneefälle empfindlich gestört werden. Eine Statistik über die Fälle mit einer Neuschneedecke für die Monate Juli und August 1953 bis 1977 zeigt, dass sich auf 1800 m ü.M. (Arosa) der längste schneefallfreie Abschnitt auf die Zeit zwischen dem 27.Juli und 11.August konzentriert. Vor dem 18.Juli und nach dem 17.August muss bereits in jedem Jahrzehnt mit Neuschnee gerechnet werden. Auf 2500 m ü.M. (Säntis) blieben in 25 Jahren nur der 14., 15. und 30. Juli, sowie der 6., 7., 14. und 15.August ohne Neuschneedecke. In dieser Höhenlage unserer höchsten Alpenpässe liegt mindestens zweimal pro Jahrzehnt Neuschnee vor dem 12.Juli und nach dem 22.August. Nach Th. Zingg (1954, Bd/N Nr. 706) muss man in Mittelbünden damit rechnen, dass oberhalb 3200 m ü.M. die Sommerschneefälle so zahlreich sind, dass die Winterschneedecke über eisfreiem Grund nicht mehr ausapert (365 Tage mit Schneedecke = klimatische Schneegrenze). Ueber die Witterungsklimatologie der Sommerschneefälle in den Alpen (Säntis) orientiert F. Fliri (1964).

7.5 Die Seevereisungen

Eine markante jahresperiodische Erscheinung ist das Zufrieren und Auftauen von Alpenseen. Langjährige Beobachtungen hierüber liegen von den praktisch gleich hoch gelegenen Aroser- und Oberengadinerseen vor (F.W. Götz 1954, Bd 1/N Nr. 247; O. Lutschg 1954, Nr. 360; "Engadiner Post, St.Moritz 1954; "Fögl Ladin", Samedan 1968 und Nr. 38 1974).

Tab. 49

Zufrieren und Auftauen der Aroser- und Oberengadinerseen sowie deren Vereisungsdauer für verschiedene Beobachtungsperioden.

<u>Mittel</u> <u>daten</u>	Z u f r i e r e n				A u f t a u e n			
	Arosa		Engadin		Arosa		Engadin	
	Obersee 1734 m	Untersee 1695 m	St.Mor. 1768 m	Sils 1797 m	Obers. 1734 m	Unters. 1695 m	St.Mor. 1768 m	Sils 1797 m
1914/15-1945/46	16.XI	13.XI	9.XII	21.XII	12.V	11.V	9.V	17.V
1832-1970	-	-	-	-	-	-	12.V	-
1864-1974	-	-	-	-	-	-	-	18.V
1864/65-1944/45	-	-	8.XII*	22.XII	-	-	14.V	20.V
<u>Extremdaten:</u>								
1914/15-1945/46								
frühest	27.X	24.X	28.XI	23.XI	22.IV	21.IV	21.IV	27.IV
spätest	27.XI	27.XI	14.XII	4.I	2.VI	1.VI	26.V	31.V
1832-1970 bzw. 1864-1973:								
frühest	-	-	26.XI	-	-	-	19.IV	22.IV
spätest	-	-	20.XII	-	-	-	8.VI	18.VI

Mittlere Vereisungsdauer und Extrema; Arosa 1918/19-1945/45, St.Moritz 1832-1970 (mit Unterbrüchen), Silvaplana und Sils 1864/65-1944/45:

	Höhe m	Mittel (Tage)	kürzeste	längste
Arosa, Obersee	1734	177	154 (1938/39)	207 (1918/19)
St.Moritzersee	1768	153*	136 (1941/42)	177 (1887/88)
Silvaplanersee	1791	146	117 (1864/65)	170 (1887/88)
Silsersee	1797	149	115 (1864/65)	192 (1878/79)

* = nur 43 Jahre zwischen 1884 und 1943 mit Zufrierdaten

Beim Zufrieren ist eine deutliche Abhängigkeit zur Seegrösse, genauer zum Wasservolumen festzustellen wie die Seeflächenwerte und die (mit Ausnahme des Silsersees) geschätzten Volumina ergeben:

Aroser Untersee 0.020 km^2 , 0.1 Mio m^3 ; Obersee 0.084 km^2 , 0.7 Mio m^3 ;
St.Moritzersee 0.78 km^2 , 20 Mio m^3 ; Silvaplanersee (ohne Lej da Champfèr) 2.7 km^2 , 100 Mio m^3 ; Silsersee 4.1 km^2 , 137 Mio m^3 . Beim Auftauen dagegen scheinen die Wetterabläufe im Frühjahr massgebender zu sein.

Bei O. Lutschg (1915) wird für die Seen des Berninapasses Vereisungsdauern von 240 Tagen für den Lago Bianco (2234 m, 1.50 km^2 , 21 Mio m^3) und für den kleinen Lago Nero (2223 m) von 252 Tagen angegeben. Der Lej Sgrischus (Fextal ob Sils/Segl, 2620 m) soll 264 bis 365 Tage gefroren sein; der Passsee auf dem Grossen St.Bernhard im Wallis (2445 m) zwischen 225 und 329 Tage.

7.6 Trockenperioden

Der Abschnitt vom Dezember 1975 bis und mit Juni 1976 bewies, dass über unserem Raum über ein halbes Jahr lang weniger als die Hälfte des Sollniederschlages fallen kann (Arbeitsber. MZA Nr. 73, 1977). Dies rief zu Beginn des Sommers zu ungewohnten künstlichen Bewässerungsmassnahmen, besonders im Engadin, wo mit weniger als 200 mm gar nur gut ein Drittel des ohnehin geringeren Normalwertes an Niederschlag gefallen sind. Dabei gilt als Sprichwort im Engadin, dass Trockenheit nur in der Zeit vom 24.Juni bis zum 25.Juli nichts schade; Trockenheit ab Mitte Mai wird am meisten gefürchtet (H. Lössli 1944).

Praktisch ganz niederschlagsfrei (höchstens 0.2 mm pro Tag) blieben im Zeitraum 1901-1970 die folgende Anzahl aufeinanderfolgender Tage; w = Winterhalbjahr Oktober bis März, s = Sommerhalbjahr.

Tab. 50

Häufigkeit von Trockenperioden und ihre ununterbrochene Dauer in Tagen
(Statistik Klimadienst MZA, J. Lehmann).

Häufigkeit	D a v o s		B e v e r		L u g a n o	
	s	w	s	w	s	w
1 mal pro Jahr	10	15	11	17	13	23
1 mal pro 10 Jahre	16	27	18	30	23	40
1 mal pro 70 Jahre	22	40	24	40	32	60

Die winterliche thermische Stabilität mit deswegen seltenen lokalen Konvektionsniederschlägen und der gegen Osten und vor allem gegen Süden zunehmende Schutz vor Westwindniederschlägen erhöht in den Südtälern die Wahrscheinlichkeit längerer, trockener Zeitabschnitte. Die bisher längste Trockenperiode erlebten in unserem Kanton Mesocco und Soglio mit 64 Tagen vom 3. Januar bis 7. März 1949; im benachbarten Tessin gilt dasselbe auch für Biasca. Die starke Verdunstung im Sommer verkürzt im Zusammenspiel mit der ausgeprägten Konvektion absolute Trockenzeiten. Die grosse örtliche und zeitliche Variabilität von Konvektionsregen vermögen grossräumige Trockenperioden nicht zu verhindern. So sind im Engadin als unergiebiges Heuerntejahre folgende Trockensommer in Erinnerung (mündl. Mitteilung G.B. Zucchi, Celerina, ca. 1940): 1811, 1859, 1865, 1881-85, 1893, 1903, 1905, 1911, 1921, 1928 und 1929.

7.7 Die Verdunstung, hydrologische Bilanzen

Mit der Niederschlagsmenge, dem relativen Feuchtigkeitsgehalt der Luft (Sättigungsdefizit) und der Temperatur ist (nebst Wind- und Strahlungseinfluss) die Verdunstung gekoppelt. Die Zusammensetzung der Pflanzendecke modifiziert die Auswirkung dieser Klimaelemente. Für Oesterreich lässt sich in vereinfachter Form die Gebietsverdunstung in mm Wasserhöhe anhand der Jahresmitteltemperatur T_J und des Jahresniederschlags N_J approximieren (F. Fliri 1975, S. 177):

Tab. 51

Jährliche Gebietsverdunstung in mm in Abhängigkeit der Jahresmitteltemperatur TJ in °C und den Jahresniederschlägen NJ in mm, +/- 20 % Streuung ist zu tolerieren.

NJ mm	TJ:	-4	0	+4	+8	+12 °C
600		150	240	330	410	470
1000		150	270	390	510	620
1400		150	280	400	530	670

Je nach örtlichen Föhn-, Wind- und Strahlungsexposition können, falls alles gleichsinnig wirkt, potentiell Mehrverdunstungen bis zu 150 mm über den Werten von Tab. 51 möglich sein. Nach Fliri (1975) bewirkt der Föhn in Innsbruck eine Verdunstungserhöhung von 155 mm im Jahr, wovon 120 mm allein März bis Juni. Hydrologischen Bilanzen schweizerischer Untersuchungen zufolge ergeben sich auszugsweise nachstehende Werte für Graubünden (Tab. 52).

Tab. 52

Hydrologische Bilanzen einiger bündnerischer Einzugsgebiete. F = Einzugsfläche bis zum Messort in km², HM = mittlere Gebietshöhe in mm, HJ = Jahresniederschlag in mm, AJ = jährliche Abflusshöhe in m. VJ = Jahresverdunstung in mm aus Differenz NJ minus AJ (nach W. Binggeli 1974, S. 11-12).

Einzugsgebiet	F km ²	HM m	NJ mm	AJ mm	VJ mm
Davos, Seegebiet	9.5	1934	1090	810	280
Vorderrhein, Ilanz	776	2020	1700	1410	290
Rhein, bei Bad Ragaz	4437	2060	1720	1440	280
Rhein, Basel	5923	1050	1420	940	480
Inn, Martina	1790	2350	1260	960	300
Brenno, Campra (TI)	35	1907	2090	1740	350
Verzasca, Corippo (TI)	189	1680	2300	1920	380
Val Melera (TI)	1.1	1419	2060	1350	710

Direkte punktuelle Verdunstungsmessungen liegen aus Graubünden erst ab 1974 vor (Plantahof/Landquart); für längere Reihen ausserhalb des Kantons s. J. Perret e.a. 1975, über die Methodik B. Primault 1976, 1971, 1961.

Oertliche Verdunstungsberechnungen sind möglich (B. Primault 1971, 1962). Sie zeigen, dass in übernormal sonnigen Hochsommermonaten mehrere Wochen hintereinander negative Wasserbilanzen möglich sind. In Tälern können dabei pro Woche 30 bis 40 mm Wasser verdunsten, ohne dass es durch Regen ersetzt wird. Bei Föhn sind zu jeder Jahreszeit Tagesverdunstungen von 10 mm möglich (vgl. Anhang 5 der Annalen MZA ab Jahrgang 1969); im noch trockeneren Nordföhn sind im Frühling und Sommer am Alpensüdfuss schon 15 mm vorgekommen. Negative Wasserbilanzen entscheiden, abgesehen von örtlichen edaphischen Faktoren, über die Notwendigkeit künstlicher Bewässerung (G. Furrer und R. Freund 1974).

8. GEWITTER UND HAGEL

8.1 Die Gewitterhäufigkeit

Zwischen der Niederschlagsmenge und der Gewitterhäufigkeit herrscht eine enge Beziehung. Den hohen Summen an beiden Alpenflanken sind denn auch im Norden 35 bis 40 Tage pro Jahr mit einem (oder mehreren) Gewittern zuzuordnen, im Süden (Tessin) sogar über 50, wogegen über den inneralpinen Trockenkammern nur an rund 15 Tagen im Jahr Donner gehört werden kann (Fern- und Nahgewitter zusammen). Aufgrund des Blatts 13 im Atlas der Schweiz weisen die mittleren und unteren Abschnitte des Vorderrheins, des Valser- und Safientales sowie das Unterengadin und das Münstertal weniger als 15 Tage auf, was, zusammen mit den Walliser Südtälern, dem Landesminimum entspricht. Das Unterengadin und Münstertal schliessen sich dem alpinen Minimum im Obervinschgau an, wo pro Jahr im Schnitt nur zwischen 5 und 10 Tage mit Fern- und Nahgewittern notiert werden (Fliri 1975 u. v. Cantù 1977). An der Bündner Nordgrenze, im Rheinwald, Oberengadin und Puschlav sind 20-25 Tage, im Berninamassiv und Bergell sowie in der Adula (Rheinwaldhorngruppe) 25-30, im südlichen Misox und Calanca bereits 40 Gewittertage zu erwarten. Anhand einer etwas verfeinerten Flächeneinteilung der Schweiz durch A. Piaget, 1965 und 1966, (Bd 1/N Nr. 456 und 457) mit 72 Feldern statt 40 wie im "Atlas" (Nr. 568 Bl. 13) ergeben sich für die Jahre 1955-1962 ("Atlas": 1901-1922) als gewitterärmste Zonen mit unter 20 Tagen nebst dem Mittelwallis nur noch das Unterengadin und das Münstertal. Das Maximum steigt an der Südwestgrenze des Kantons auf 50 Tage. Es ist hier zu beachten, dass in einer kurzen Untersuchungsperiode mit reaktiviertem Meldesystem die Mittelwerte merklich erhöht werden können. Ueber die Zugehörigkeit des Domleschg sind unterschiedliche Werte zu finden: im "Atlas" Blatt 13 gehört es ebenfalls zum Minimumsraum mit weniger als 15 Tagen. Nach C. Hess (1907, S. 267) liegt es höher, da sich im oberen Safiental - Beverin - Heinzenberg/Domleschg sich zwei Gewitterzüge kreuzen sollen: vom Tessin (Calanca/Blenio) und vom Oberalp her, was die Gewittertage von rund 15 auf 20-25 Tage erhöht (Chr. Caflisch, 1939, S. 25).

Die hohe Gewitteraktivität über den südlichen Alpen behandeln auch Fl. Ambrosetti und E. Zenone (1954-1977).

o.2

Gewitterzüge

Während Gewittern wehen oberhalb 5000 m ü.M. vorwiegend Winde aus Südwest bis West; 60 % aller Südseitengewitter fallen auf den Sektor 220-280 Grad (M. Schönbachler und E. Zenone 1965) bzw. 68 % im Bereich 190-270 Grad (E. Zenone 1977), also etwa parallel zum Alpenkamm. Für Gewitter über Graubünden liegen die Entstehungsherde meistens im Tessin (Centovalli-Ceneri). Einzelne Wärmegewitter bilden sich auch über dem Quellgebiet des Vorderrheins, der Adulagruppe und dem Rheinwald, ferner (häufiger) über den Bergamasker- und Bergelleralpen. Infolge Absinkeffekten bei südwestlichen Höhenwinden wirkt das östliche Mittelbünden (vom Domleschger Talbecken an) und Nordbünden als Auflöseraum für Gewitterzüge. Auch das Oberengadin wirkt, vor allem über den ausgedehnten Gletscher- und Firngebieten an der Nordflanke des Berninamassivs, dämpfend auf die vom Veltlin aufziehenden Gewitter.

8.3

Der Jahres- und Tagesgang der Gewitter

Aehnlich der Bewölkungsschätzung sind Gewitterstatistiken insofern subjektiv, als der Umgebungslärm tagsüber und die Schlaftiefe nachts bei den einzelnen Beobachtern ungleiche "Ansprechwerte" erzeugen, vor allem für Ferngewitter; Nahgewitterstatistiken (Tab. 53 b) sind wohl objektiver.

Tab. 53

Monatliche und jährliche Häufigkeit von Fern- und Nahgewittern (a), und von Nahgewittern allein (b, innerhalb 3 km um Station), Periode 1941-1970 *= nur 1959-1970, **= nur 1961-1970; Programm (a) H. Bantle, MZA 1976; für Teil b 1900-1975 (Ba 1/K).

a) Fern- und Nahgewitter, Anzahl Tage pro Jahr

Station/Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Bad Ragaz	-	0.0	-	0.1	0.6	1.5	2.5	1.9	0.8	0.1	-	-	7.5
Chur*	-	0.1	-	-	1.1	2.1	2.9	2.8	1.1	0.1	0.2	-	10.3
Davos	-	-	-	0.0	1.3	3.2	5.3	3.3	1.3	0.1	-	-	14.5
Weissfluhjoch*	-	-	0.1	-	1.0	2.5	5.4	2.7	1.2	0.2	-	-	13.0
Disentis**	-	-	0.1	0.4	1.2	2.3	2.3	2.5	0.7	0.6	0.2	-	10.3
Bever	-	-	-	-	0.4	1.9	3.3	2.2	0.6	0.0	0.0	-	8.5
Scuol/Schuls	-	-	-	-	0.4	1.3	2.9	2.3	0.6	0.0	0.0	0.0	7.5

b) Nahgewitter allein, Anzahl Tage pro Jahr

Sitten VS	-	-	0.1	0.1	1	2	3	2	1	0.1	-	-	9
Chur	-	-	-	-	1	1	3	2	1	-	-	-	8
Davos	-	-	-	-	1	3	5	3	1	0.1	-	-	13
Arosa	-	-	-	0.1	1	2	4	3	1	0.1	-	-	11
Säntis	0.1	-	0.2	1	1	4	4	3	1	0.1	0.1	0.1	14
Scuol/Schuls	-	-	-	-	0.3	1	3	2	1	-	-	-	7
Bever	-	-	-	0.1	0.4	2	3	3	1	0.1	-	-	9
San Bernardino *	-	-	-	0.1	1	2	2	2	1	0.1	-	-	8
Comprovasco TI	-	-	0.1	0.3	1	3	4	3	1	0.2	0.2	-	12
Locarno	-	0.1	0.4	1	4	5	6	5	2	1	0.4	0.1	24

* 1950-1968 fehlend

Die Gewitterhäufigkeit hält sich eng an den Jahresgang der Temperatur.

Im Alpeninnern sind jedoch 60 bis 70 % der ganzen Gewittertätigkeit auf die Monate Juli und August konzentriert. Nur an den beiden Alpenflanken sind, entsprechend der Temperatur und dem schon hohen Sonnenstand, bereits Mai- und Junigewitter recht häufig. Die Verzögerung innerhalb der Alpen ist eine Folge der gegenüber dem Alpenvorland späteren Schneeschmelze. Diese Konzentration auf beide Hochsommermonate äussert sich auch im Volksmund. So heisst es in der Surselva: "Der Juli, das ist der Gewittermonat" und: "Ein August ohne Blitz und Donner ist kein August" (A. Spescha 1973).

Vor dem 10.Mai sind Gewitter praktisch inexistent, sie setzen erst um den 30.Mai ein; nach dem 15.September bleiben diese Wärmegewitter recht plötzlich aus (s.a. H. Bach, 1907, S. 73/74).

Im Tagesgang der Gewitterfrequenz hebt sich, analog dem Jahresgang, ein dem Wärmeverlauf entsprechendes Maximum zwischen 15 und 19 h heraus; in dieser Zeitspanne entladen sich fast 50 % aller Berggewitter. Das Minimum liegt zwischen 00 und 11 h (15 %). Zwischen 11 und 12 h werden im Hochsommer über felsreichen Bergstöcken öfters die ersten Donner gehört, verbunden mit noch recht bescheidenen Regen- oder Graupelschauern. Verbreiteter bilden sich Wärmegewitterherde meist zwischen 13 und 16 h über den südalpinen Vor-alpen (Bergamaskeralpen - Comerseeumrandung - Ceneri). Sie wandern dann mit den Höhenwinden, teils auch angesogen durch die Talaufwindssysteme, alpineinwärts, wo sie zwischen 16 und 19 h eintreffen pflegen (s.a. Bd 1/N Nr. 027; V. Ermini 1961).

8.4 Der Hagel

Entsprechend der vorwiegend beschränkten Gewittertätigkeit ist Hagelschlag im Bündnerland sehr selten (Tab. 54).

Tab. 54

Monatliche und jährliche Häufigkeit von Hagelschlag am Messort selbst.
Anzahl Tage pro Jahr. Perioden und Auswerteprogramm gemäss Tab. 53 a).

Station/Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Bad Ragaz	-	0.0	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	-	-	-	0.4
Chur	-	-	-	-	-	-	0.3	0.1	0.1	-	-	-	0.4
Davos	-	-	-	-	0.3	0.2	0.3	0.4	0.1	-	-	-	1.4
Weissfluhjoch	-	-	-	-	0.4	0.3	0.5	0.2	0.2	0.1	-	-	1.6
Disentis	-	-	-	-	-	0.2	0.3	0.1	-	-	-	-	0.6
Bever	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	-	-	-	0.5
Scuol/Schuls	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-	-	-	0.3

Die Statistik ist nicht so zu interpretieren, dass weniger als jedes zehnte Gewitter Hagel erzeugt: erstens werden Nahgewitter innerhalb eines Umkreises von 3 km, Ferngewitter von sogar 10 bis 15 km erfasst, der Hagelschlag selbst jedoch nur über einigen m² am Beobachtungsstandort; zweitens kann der Hagel vor dem Erreichen des Talbodens zu grossen Regentropfen schmelzen (vgl. etwas höhere Werte von Davos und Weissfluhjoch).

Schwere Hagelschäden durch grosse Schlossen (Nussgrösse, vereinzelt Hühnereigrösse) sind fast unbekannt. Aus dem Ober-Engadin sind über 100 Jahre nur vier Fälle bekannt: 10.Juli 1865 (La Punt-Zuoz), 1.Juli 1897 (A.Flugi 1931) sowie am 23.Juli 1967 und 7.Aug. 1970 (beide Male grosse Kirschensteine, 1967 z.T. sogar wie kleine Vögeleier, Raum Bever/Samedan). Aus dem übrigen Bünden erwähnt Chr. G. Brügger (1876-1888) aus dem 16. bis 18.Jahrhundert:

1797	22.VI	Flims	1599	24.VIII	Chur-Walenstadt
1794	11.VI	Flims	1592	28.VIII	Chur-Landquart
1785	? VI	Oberland	1591	3.VIII	Kt. Glarus bis
1757	2.-4. VI	verbreitet			Comersee
1699	5.VIII	Schams	1589	16.VI	Domleschg
1611	26.VI	Chur, Prättigau	1584	17.VII	Schanfigg
		Misox, Bergell	1580	? VI	Chur-Churwalden
1605	28.VI	Malans			(Hühnereigrösse)
1604	16.VI	Malans	1537	28.VIII	Chur
1602	5.VIII	Lugnez, Domleschg, Churwalden, Prättigau			

Häufiger genannt werden: das St.Galler Rheintal, das mittlere und untere Glarnerland und das Veltlin.

Hagelschäden in Gärten und auf Fluren werden pro Gemeinde etwa alle 5-20 Jahre bekannt (s.a. L. Bisig 1977). Wohl alljährlich können innerhalb des Kantonsgebietes hinter heftigen Gewittern an Bergflanken mehrere km lange Hagelstreifen erkannt werden, welche die Hänge wie frisch angeschnitten erscheinen lassen. Da dies jedoch 1000-2000 m unterhalb der momentanen Nullgradgrenze geschah, sind sie auch aus einiger Entfernung als Hagelstriche erkennbar; sie können bis in den Folgetag hinein bestehen bleiben, wie z.B. vom 26. auf den 27.Juni 1976 im Raume Flüelapass-Davos. Am wenigsten Hagelschäden (seltener als etwa alle 20 Jahre einmal) sind aus dem Unterengadin und dem Münstertal bekannt. Das unterste Puschlav und besonders Misox erhält bereits

häufiger Hagel. Im Bereiche des sekundären mittelbündnerischen Gewittermaximums von Safien/Domleschg werden alljährlich 3-4 meist nur feinkörnige Hagelfälle bekannt, oft im nördlichen Domleschg, welches gegenüber seiner Umgebung überwärmt ist. Dieser Hagel ist meist an Gewitterzüge aus der Oberalpgegend/Tavetsch gebunden, die vor Kaltfronten aus Norden entstehen (Chr. Caflisch, 1939, S. 26).

8.5 Die Blitzgefährdung

Hier liegen uns aus dem angrenzenden Land Vorarlberg und Nordtirol Statistiken der Jahre 1949-68 zur Verfügung (V. Fritsch und A.F. Tauber 1971). Für den dem Unterengadin anschliessenden Bezirk Landeck liegt der Blitzgefährdungsgrad in der tiefsten der sechs möglichen Stufen (0-5 Einschläge in 20 Jahren pro 10'000 beobachteten Objekte). Der an Nordbünden folgende Bezirk Bludenz liegt in der nächst höheren Stufe (5-10 Fälle). Die oberste Stufe (25-30 Einschläge) liegt am österreichisch-bayrischen Alpennordfuss.

9. DIE WINDVERHAELTNISSE

9.1 Die Höhenwinde in der freien Atmosphäre

Die durch Ballone (Radiosonden) im freien Luftraum über dem Alpenvorland gemessenen Höhenwinde stellen gleichsam das "Angebot" der Winde in unserem Klima innerhalb des Westwindgürtels der gemässigten Breiten dar (Tab. 55).

Tab. 55

Häufigkeit der Windrichtungen und der dazu gehörenden mittleren Windgeschwindigkeit über der westschweizer Sondenstation Payerne auf rund 5500 m ü.M. (Luftdruck 500 mbar), 5 Jahre 1969-1973; Richtung in Kompassgraden, Geschwindigkeit in km/h, SU = Summe, M = Mittelwert.

Wind aus	360 Nord	030 NE	060	090 Ost	120 SE	150	180 Süd	210 SW	240	270 West	300 NW	330	SU/M
Prozent	8.7	6.8	5.5	4.2	3.3	3.3	6.1	10.8	14.0	14.6	12.7	10.0	100.0
Geschw.	59	57	46	37	30	30	37	52	57	56	57	63	52.0

Die resultierende Windkomponente und das skalare Mittel der Windgeschwindigkeit (FM) für die Standarddruckflächen lauten (Tab. 56):

Tab. 56

Resultierende Winde und mittlere Windgeschwindigkeiten aller Einzelwinde 1969-1973 über Payerne.

Druck mbar	Höhe m ü.M.	Resultierende Grad km/h	Geschw. km/h
Boden	500	212 / 02	07
850	1500	240 / 05	26
700	3000	256 / 13	35
500	5600	285 / 22	52
300	9200	285 / 30	78
200	11800	286 / 35	76

Mit zunehmender Höhe über Meer dominiert der Wind aus Westen.

9.2

Die Windverhältnisse in Bodennähe

"Wenn alli Wätter Wätter sind, so ds leidist ist halt doch der Wind" (Davoser Sprichwort, H. Hauser 1973, S. 431).

Hierin äussert sich die leidige Erfahrung im Gebirge, dass die Sonne vergebens versucht, uns Wärme zu spenden, wenn der Wind auf dieses Vorhaben pfeift.

In einem Gebirge werden die Winde der freien Atmosphäre vielfach abgelenkt und meistens auch gebremst; Düsenwirkungen über Pässeinschnitten und in Talverengungen können allerdings auch Windverstärkungen erzeugen. Die Richtungsablenkung geschieht üblicherweise parallel zu den Bergflanken beidseits der Täler, jedoch sind Querwinde, bes. bei Föhn, Frontdruchgängen und Gewitterböen, nicht ausgeschlossen.

Tab. 57

Häufigkeitsverteilung der Windrichtung (Windrose) in Prozenten (%) mit dazu gehörender mittlerer Windgeschwindigkeit (FM) in km/h aller Beobachtungen mit bewegter Luft (ohne Kalmen, ab ca. 3 km/h) Bd 1/G 2-3.

Station	Zeit		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	SU/M
<u>Bever</u> 1901-1960	Jahr	%	10.7	20.7	3.5	3.0	10.0	19.9	22.7	9.5	100
		FM	11.7	11.3	10.3	13.0	14.5	13.4	12.6	13.2	12.6
	Sommer	%	7.0	17.0	3.4	3.3	11.0	23.2	25.1	10.0	100
		FM	10.8	11.0	9.6	14.3	17.4	15.3	14.0	13.6	13.8
	Winter	%	14.9	27.2	3.8	2.3	6.3	14.7	21.2	9.6	100
		FM	11.7	11.1	10.3	10.8	12.3	10.6	11.0	13.4	11.4
<u>Weissfluhjoch</u>											
1947-1960 FM nur 1953-1960 (KB Nr. 710)	Jahr	%	12.4	6.2	3.3	18.5	20.8	8.3	9.0	21.5	100
		FM	16.0	9.0	8.0	17.5	12.0	11.0	13.5	20.5	15.1
	Sommer	%	15.6	4.9	2.3	16.3	17.4	7.2	9.3	27.1	100
		FM	12	7	6	14	10	8	11	17	13.6
	Winter	%	11.2	8.3	3.4	15.7	22.5	9.3	10.2	19.4	100
		FM	18	13	10	22	15	13	19	24	18.0
<u>Arosa I</u>											
1931-1953	Jahr	%	0.1	1.0	10.4	32.1	5.3	17.0	18.8	15.3	100
	Sommer	%	-	1.2	17.6	46.6	5.2	11.6	9.0	8.8	100
	Winter	%	-	0.8	4.0	17.6	3.2	16.6	30.9	26.9	100
<u>Bad Ragaz</u>											
1938-1960	Jahr	%	1.3	0.6	3.4	21.6	3.8	13.4	29.1	26.8	100
		FM	6.6	7.3	9.2	19.6	8.4	7.0	8.1	7.9	10.4
<u>Davos</u>											
	Jahr	%	1.2	50.2	18.9	7.7	4.0	16.2	1.4	0.4	100
		FM	7.5	10.7	8.2	7.4	7.5	8.4	7.7	7.6	9.4
	1330h	%	0.5	49.6	20.5	7.9	4.5	15.9	0.8	0.3	100
	Jahr	FM	9.6	11.8	8.5	7.6	7.7	9.1	8.6	7.3	10.1

9.2.1 Die Verteilung der Windrichtungen

Die Dominanz der Westwinde im freien Luftraum verlagert sich auf den Bergen (Weissfluhjoch) etwas nach Nordwesten, was in Bünden als Folge der allgemein von Südwesten nach Nordosten gerichteten Bergkämme auftritt (Ueberströmen senkrecht zu den Hindernissen, über die Bergeinschnitte, als kürzeste Ueberquerungsstrecke). Häufiger als im Vorland wehen Südost- und Südwinde, seltener die kammparallelen Südwest- und Nordostwinde.

An Hang- und Talstationen dominiert der Einfluss der örtlichen Geländegestaltung: Davos als Talbodenstation weist ein Vorherrschen der Winde parallel zur Talachse auf. Die Dominanz des Nordostsektors weist darauf hin, dass hier nicht nur Lokalwinde im Spiele sind, sondern, dass sowohl Westwinde im nördlichen Alpenvorland via Walensee - Prättigau als auch der Nordostwind (Bise) als Schönwetterwind über das St.Galler Rheintal - Prättigau und über den Wolfgangpass bis etwa gegen Glaris eindringen. Am Bräma-Büel, 2261 m ü.M. ob Davos, wehen dagegen im Jahresdurchschnitt um 13.30 h die Südwestwinde mit 41 % aller Beobachtungen (1887-1904) häufiger als die Winde aus Norden oder Nordosten mit 33 %; nur im Sommer zeigen sich fast umgekehrte Häufigkeitsverhältnisse zwischen diesen beiden Winden (H. Bach 1907).

Bever empfängt zum Windsystem des Haupttales noch dasjenige eines dort aus West bis Nordwest ausmündenden Seitentales (Bevertal). Der Sommer (und Herbst) begründet die Vorherrschaft des Südwest- bis Westsektors dank des fehlenden Talabschlusses vor Maloja, welches den Zutritt eines tagesperiodischen Windsystems aus der Raetia Comersee - Bergell erlaubt. Dieser pass-überströmende Wind ist als "Malojawind" schon oft in die Literatur eingegangen (z. B. Bd. 18 Nr. 421 von W. Moriköfer, Bulletin N.H. Gené 1878). Eine knapp zweijährige Registrierung in Segl. Sils gibt die markante Tagesperiodizität des Malojawindes wieder (Bd. 1 S. 4-6).

Tab. 58

Häufigkeit des Talaufwindes aus NE bis E und des Talabwindes (Malojawindes) aus Südwesten, aufgeteilt in die Nachtstunden von 20.30 bis 08.30 h (N) und die Tagstunden von 11.30 bis 17.30 h (T) in der Talebene von Segl/Sils (1972 bis Herbst 1973).

Wind aus Sektor	Grad	Frequenzen in %		Verh. N/T
		Nacht	Tag	
ENE-E	060-090	51.1	23.0	2.22
SW-WSW	220-250	18.7	62.6	0.29

Das Verhältnis beider Windrichtungen zueinander ändert sich somit im Jahresmittel aller Tage zwischen Tag und Nacht sehr deutlich: Südwestwinde sind tagsüber fast 8 mal häufiger als nachts im Vergleich zu den Winden aus der entgegengesetzten Seite, s. Fig. 12a und 12b. Aber auch Hangstationen lassen eine thermisch bedingte Tagesperiodik in der Windrose erkennen: Arosa weist im Sommer viel häufiger einen Hangaufwind (Thermik) auf, d.h. aus Ost bis Südost, als im Winter, in welchem die Hangabwinde aus West bis Nordwest dominieren, bisweilen noch unterstützt durch die winterlichen grossräumigen Westwinde, die in den Talabschluss heruntergreifen können.

9.2.2 Die Windgeschwindigkeiten

In Gipfelbereichen (Weissfluhjoch) weisen die häufigsten Winde auch die höchsten mittleren Stärkegrade auf. Die häufigeren winterlichen Sturmweatherlagen erhöhen das Wintermittel gegenüber den übrigen Jahreszeiten. Im Tagesgang geht hier ein Geschwindigkeitsminimum zwischen 09 h (Sommer) und 13 h (Winter) hervor. Ihm steht ein tagesperiodisches Windmaximum zwischen 02 und 07 h im Winter bzw. von 17 bis 20 h vor allem im Sommer gegenüber. Hier äussern sich die Vertikalkomponenten des Windes bei der mittäglichen Konvektion (Thermik) tagsüber, welche die immer nur horizontal gemessenen Windkomponente dämpft. Stürme mit 75 km/h und mehr Mittelwert treten auf Weissfluhjoch an 0.3 % aller Beobachtungstermine auf; aus Nordwesten sind sie 5 mal häufiger als aus Südosten.

Im Talsohlenbereich sind die Nachmittagswinde allgemein stärker als die Nachtwinde, also umgekehrt zu den Winden auf den Bergen und im freien Luftraum. Dass dieses Stärkeverhältnis der Talwinde im Tagesablauf sich hauptsächlich auf das Sommerhalbjahr bezieht, zeigt die "Malojawindstation" Segl/Sils in Tab. 59 und Fig. 12a, 12b.

Tab. 59

Stärkevergleich des Talauf- und Talabwindes (Malojawind) zwischen Nacht und Tag im Winter und Sommer. Messung in 3 m über Boden (für 10 m/Grund 1/3 Zuschlag) in der Talebene von Segl/Sils (1972 bis Herbst 1973, Bd 1/G 4-6).

Wind aus Sektor	Grad	mittlere Geschwindigkeit, km/h			
		Winter		Sommer	
		22-06h	10-18h	22-06h	10-18h
Nordost	050-070	5.3	7.6	7.1	11.7
Südwest	230-250	11.3	9.8	6.4	14.8

Beim winterlichen Wind von Maloja her (Gradientwind) zeigt sich bereits die Charakteristik der Pass- und Gipfelwinde (Nachtwind stärker als der Tagwind). Der eigentliche Malojawind, als thermisch bedingter Talaufwind aus dem Bergell, kommt im Sommer in der mehr als verdoppelten Geschwindigkeit tagsüber gut zum Vorschein.

Tab. 60 zeigt den mittleren Tagesgang der Windgeschwindigkeit für alle Windrichtungen, ergänzt durch den Walliser Talwind.

Tab. 60

Mittlere Windgeschwindigkeiten von 2 zu 2 Stunden für Chippis (VS), 1954-1970 und Segl/Sils, Febr. 72 - Sept. 73.

Zeit	Chippis	Segl	Zeit	Chippis	Segl
0- 2 h	5.4 km/h	5.8 km/h	12-14 h	11.1 km/h	13.0 km/h
2- 4	5.1	5.8	14-16	13.2	13.0
4- 6	5.0	5.6	16-18	12.8	11.2
6- 8	5.3	6.2	18-20	10.0	8.6
8-10	6.3	7.6	20-22	7.1	6.8
10-12	8.3	10.8	22-24	5.9	6.2
			Mittel	8.0	8.4

Mit dieser Malojawindzirkulation gehen auch typische horizontale Luftdruckunterschiede einher: über Bever findet sich nachmittags ein etwas stärkeres "Hitzetief" als über Maloja (R. Billwiller sen. 1893 und 1896). Die Vertikalstruktur des Malojawindes mit Hilfe von Pilotballonmessungen ergeben ein Windstärkemaximum in den untersten 300 Höhenmetern. Darüber schwächt sich der Malojawind ab und geht oberhalb etwa 600 m über der Talsohle, also bereits wesentlich unterhalb der mittleren Kammhöhe des Oberengadins (um 1200 m über dem Tal), allmählich in den Gradientwind über. Sein Einbruch (10-11 h) und seine Vertikalstruktur entsprechen einem einbrechenden Kaltluftkeil (Bd 1/N Nr. 740 und 741; M.H. Gerig 1978). Winduntersuchungen in einem V-förmigen Alpental, dem Dischma-tal bei Davos, finden sich bei Ch. Urfer-Henneberger und M. Schüepp, 1963 und 1970 (Bd 1/N Nr. 572 und 642).

Ueber die Aenderung der Windstärke mit der Höhe liegen vom November 1929 bis zum März 1930 vom Observatorium Arosa gut 100 Pilotballonvisierungen vor. Diese wurden meist zwischen 09 und 10 h ausgeführt, mehrheitlich mit gleichzeitigen Messungen an der Drachenstation Friedrichshafen am Bodensee (W. Peppler und F.W.P. Götz 1931). Tab. 61 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tab. 61

Mittlere Windgeschwindigkeiten in km/h über Arosa, Friedrichshafen und München im Winter 1929/1930.

Höhe m ü.M.	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2700	3000	3500	4000
Arosa	5.0	5.4	6.1	8.3	9.7	11.9	15.5	19.8	27.7	34.9	39.6
Friedrichshafen	26.6	27.4	27.7	29.9	30.9	32.1	32.4	33.5	34.9	39.6	45.7
München	-	32.8	-	-	-	-	34.6	-	37.1	45.7	45.7

Die Windschutzwirkung der Berge um Arosa (Kammhöhe um 2500 m ü.M.) macht sich bis gegen 2400 m gut bemerkbar (Abschwächung gut 20 km/h). In der Uebergangsschicht, zwischen 2500 und 3200 m ü.M., nimmt die Windstärke über Arosa stark zu. Darüber bleiben die Winde bis 4300 m ü.M. konstant 3-6 km/h schwächer als über dem Bodensee; auf 4500 m ist der Ausgleich praktisch erreicht.

Die Bremswirkung der Bündneralpen ist bei alpenparallelen Winden stärker als bei alpensenkrechten: Nordwestwinde waren über Arosa im Höhenbereich zwischen 2900 und 3300 m ü.M um 17 km/h stärker als über dem Bodensee (Stromlinien-
drängung); auch die Südostwinde wehten, mit 4 km/h Mehrbetrag allerdings nur bescheiden, stärker als über dem Alpenvorland.

9.3 Mittagswinde bei Gut- und Schlechtwetter

Um den Nachweis zu erbringen, dass tagesperiodische Gebirgswinde bei Schönwetter besser ausgebildet sein sollten als bei wolkenüberzogenem Himmel, wurden den Mittagsbeobachtungen zwei Bewölkungsklassen zugeordnet: die Gutwetterfälle mit 0-4/10 und die Schlechtwetterfälle mit 10/10 Bedeckungsgrad um 13.30 h (Tab. 62).

Tab. 62

Windrosen und Windstärkegrade bei Gut- (0-4/10) und Schlechtwetter (10/10 Bewölkung) um 13.30 h, 1959-1970, Programm H. Bantle MZA 1976.
Windstärke: 0 = unter 3 km/h, 1 = 3-12 km/h (leicht), 2 = 13-26 km/h (mässig), 3 = 27-45 km/h (stark), 4 = ab 46 km/h (stürmisch).

Station Wetter Fälle	W i n d r i c h t u n g e n (%)								Windstärke (%)				
	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	0	1	2	3	4
<u>Bad Ragaz</u>													
Gut 1729	1	4	14	2	9	20	49	2	16	74	9	1	0
Schlecht 1757	2	6	18	2	4	22	43	3	27	57	13	3	0
<u>Scuol/Schuls</u>													
Gut 1771	9	23	13	3	22	19	8	2	53	35	11	1	-
Schlecht 1168	16	18	4	3	25	20	11	3	64	23	12	1	-
<u>Disentis</u>													
Gut 1483*	15	16	13	23	20	4	2	6	38	42	16	4	0
Schlecht 1261*	13	20	8	12	20	9	5	12	40	37	20	3	0
<u>Davos</u>													
Gut 1189	53	12	14	5	13	1	2	1	11	81	7	0	-
Schlecht 2081	51	9	10	4	20	1	3	2	9	84	6	0	-
<u>Weissfluhjoch</u>													
Gut 1179	7	5	28	19	5	5	17	13	6	60	31	3	-
Schlecht 2138	2	3	25	15	6	9	30	9	3	35	41	17	5

* nur 1961-1970

Die Rheintalstation Bad Ragaz weist bei bedecktem Mittagshimmel häufiger Kalmen auf (27 statt 16 % aller 1330h-Beobachtungen); der Durchlüftungsgrad des Tales ist somit schlechter. Andererseits kommen öfters stärkere Winde auf, wobei auch der Föhn (SE) beteiligt sein kann. Wie bei Davos die Prättigauer-Talaufwinde sind auch im Rheintal diese Winde sowohl bei Schön- wie bei Schlechtwetter (Advektionen) am häufigsten. In Davos sind die Südwestwinde öfters bei bedecktem Himmel anzutreffen (Westwindadvektionen, z.T. Föhn). Bei Scuol und Disentis liegt der Wind bei bedecktem Himmel mittags besser in der Talachse und die Talabwinde aus dem Sektor West sind etwas häufiger als bei hellem Himmel, während welchem sich eine gewisse Rechtsdrehung des dann üblichen Talaufwindes in Richtung Hangaufwind (SE bei Scuol, S bei Disentis) bemerkbar macht.

Die Bergstation Weissfluhjoch reagiert am schärfsten auf die Menge der Mittagsbewölkung: bei trübem Himmel herrschen die Stauwinde aus West bis Nordwest vor, bei Sonne die Hangaufwinde aus SE und S, wobei auch Kalmen und schwache Winde üblich sind; starke Winde kommen mittags dagegen fast nur bei Schlechtwetter vor.

Im Oberengadin (Bever, hier nicht tabelliert) sind, abgesehen von geringfügig mehr N-NE-Winden bei trübem Wetter, keine markanten Unterschiede festzustellen: der SW-W-Wind kann sowohl als Schönwetter-Malojawind wehen, als auch als advektiver Schlechtwetterwind, als "unechter" Malojawind.

9.4 Der Südföhn

Tab. 57 (Kap. 9.2) zeigt für Bad Ragaz das Stärkemaximum des Windes nicht, wie üblich, für die Taufaufwinde (W-NW), sondern für den Talabwind aus SE an (vgl. auch Bd 1/G für Plantahof/Landquart). Hier wirkt sich, am ausgeprägtesten im Frühling und Herbst, der Föhn aus (Bd 1/N Nr. 255 sowie K. Waibel und Th. Gutermann 1976). Pro Jahr kann im Bündner Rheintal an 80 bis 100 Tagen pro Jahr Föhn auftreten (Altdorf im Urner Reusstal an 55 Tagen), oft nur wenige Stunden hintereinander, dann wieder über ganze Tage und Nächte hinweg. In den Monaten März bis Mai ist mit rund 12 Föhntagen pro Monat zu rechnen. Im Tal weht er zwischen 04 und 08 h deutlich seltener (Kaltluftseen in Bodennähe) als zwischen 12 und 18 h (grösste Häufigkeit).

Als mittlere Windgeschwindigkeiten bei Südföhn wurde über mehrere Jahre registriert: Plantahof/Landquart (531 m ü.M.) 22 km/h, auf dem Fläscherberg (940 m) 29 km/h und auf dem Pizalun (1458 m) 41 km/h; im Winter bläst der Föhn mit 10-15 % höherer Geschwindigkeit als diese Mittelwerte. Solche Mittelwerte hängen wesentlich vom örtlichen Strömungsprofil ab, so weist das benachbarte Balzers (FL) ein Jahresmittel von 31 km/h auf (maximales Stundenmittel 85 km/h gegen 45-55 km/h in der Rheintalebene). Kurze Windstösse von wenigen Sekunden Dauer (Böen) erreichen jährlich einmal 100-120 km/h. Als Spitzenböen über mehrere Jahre wurden aus Vaduz (FL) 137 km/h, aus Altdorf 148 km/h (15.I.1975) und über Pässen in 2000-2500 m ü.M. solche von 170 bis 180 km/h registriert. Das sind Sturmspitzenwerte wie sie nördlich der Alpen nur extreme winterliche Weststürme erreichen, die vom Atlantik über West- und Mitteleuropa hinweg rasen.

9.5 Der Nordföhn der Südalpentäler

Im Gegensatz zur reichen Literatur über den Föhn (aus Süden) fristet sein "kleiner Bruder" ein bescheidenes Dasein. H. Wild prägte 1868 erstmals den Ausdruck "Nordföhn" als Gegenstück zum Südföhn. Da der mittlere Luftdruck im nördlichen Alpenvorland, auf 500 bis 700 m ü.M. rund 1 mbar höher ist als in gleicher Höhe südlich der Alpen und weil in der Höhe Winde mit einer Nordkomponente häufiger sind als solche aus Süden (vgl. Tab. 53, Kap. 9.1) treten Nordföhneffekte öfters auf als Südföhn in den Nordalpentälern. Dies zeigen auch die Windstatistiken in Pass- und Gipfellagen (u.a. das Weissfluhjoch in Tab. 55). Bei typischen Nordföhntagen steigert sich die Luftdruckdifferenz auf mindestens 5 mbar (Einzelfälle 12 bis 15 mbar Ueberdruck im Norden). Der Nordföhn nimmt meist Boracharakter an und führt bisweilen zu Temperaturen, die sogar in den tiefgelegenen Tälern am Alpensüdfuss als ausgesprochen niedrig zu bezeichnen sind. Aus der Arbeit von R. Billwiller jun. (1904) lässt sich für das durch ihn untersuchte Bergell folgendes festhalten:

- Jahresgang: am häufigsten im Februar und März, selten im September
- Temperaturen: in Castasegna (700 m ü.M.) nur 1 Grad wärmer als an den nordföhnfreien Tagen (Jahresmittel nur 0.1 bis 0.2 höher)
- Relative Luftfeuchtigkeit: deutliche Abnahme (um 10 %)
- Vertikale Temperaturabnahme: zu Segl/Sils im Mittel bei Föhn genau 1.0 Grad/100 m (Jahresmittel aller Tage = 0.72 Grad/100 m).

Nordföhntäler sind auch das Puschlav und das Misox mit dem Calancatal. Das Münstertal und das Oberengadin oberhalb Zuoz zeigen die ersten Nordföhnauswirkungen: böige, frische Fallwinde von den im Norden gelegenen Pässen und Einsattelungen ins Tal herunter. Während z.B. auf der Nordseite der Albulakette in 1800 m ü.M. bei Nordstau Nebel mit 100 % Feuchtigkeit herrschen, sinken auf gleicher Höhe im Oberengadin die Feuchtigkeitswerte auf 60 bis 50 %; die Wolken lösen sich bereits in 800-1000 m über der Talsohle auf und die Luft ist im Tal 3 bis 5 Grad weniger kalt als nördlich der Albulakette. Vereinzelte Nordföhnfälle können auch im Unterengadin hinter der Silvrettakette, ja sogar schon in Innsbruck am Fusse der Nordkette auftreten (laut F. Fliri 1975 an 2-3 Tagen pro Jahr). Bereits die Tödi - Sardonakette kann dem mittleren und unteren Vorderrheintal Nordföhnerscheinungen bieten. Ueber den Nordföhn im Tessin und den benachbarten Bündner Südtälern siehe auch C. Delorenzi (1977), E. Zenone 1961 und Fl. Ambrosetti (1976).

9.6 Beispiel eines Passwindes: Bernina

Die seit September 1975 mit einem Windmessgerät ausgerüstete Station Bernina-Hospiz (Bahnhofstation 2256 m ü.M.) zeigt für 1976 typische Passwindverhältnisse (s. Annalen für 1976). Bei 49 % aller 1078 Windnotierungen des Jahres wehte der Wind aus dem Sektor Nordwest (290 bis 010 Grad), an 36 % aus dem Gegensektor Südost (080 bis 160 Grad) und nur an 13 % aus Querrichtungen (+2 % Kalmen). Die mittlere Windstärke betrug 20.0 km/h (z.vgl. für 1976: San Bernardino-Südportal 13.3 km/h, Weissfluhjoch 13.1 km/h, Bever 9.8 km/h; die höchstgelegene Station, Jungfrauoch auf 3576 m ü.M. 30.9 km/h). Zusammen mit der dem Weissfluhjoch ähnlich grösseren Windstärke ergibt sich für die Nordwestwinde eine einseitige Starkwindpersistenz. Auf dem benachbarten Pru dal Vent ob Alp Grüm (3.5 km sse Bernina-Hospiz) wird durch die Lokaltopographie ein zusätzlicher Düseneffekt bei Nordwindlagen erzeugt. Im Versuchsgelände der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen (Birmensdorf/ZH) wurden an der oberen Baumgrenze dort Stundenmittel bis 90 km/h registriert (H. Turner 1977). Ausgeprägte Baumkronendeformationen und Schneegebläseschäden an den obersten Lärchen sind auf diesen 2200 m ü.M. die sichtbaren Folgen dieser Nordwindschneise (s.a. Bd 1/N Nr. 293). Schutzgalerien gegen Tribschnee der Berninabahn legen ebenso Zeugnis der Winterstrenge ab, wie der ausgedehnte Windflechtenbewuchs im Sommer auf den Rundhöckern des Berninapasses.

Solche Lokalwindeffekte beherrschen die Abkühlungsgrösse von Warmblütern (Bd 1/N Nr. 283). M. Bider und Chr. Thams (Nr. 091) weisen auf ihre bioklimatische Bedeutung hin. 20 km/h mittlerer Wind wirken bei +10°C wie 5, bei -10° wie 10 Grad kälter als die gemessene Lufttemperatur (F.G. Höflin und U.F. Gruber 1972; s.a. J.K. Page 1976).

10. KLIMAREGIONEN GRAUBUENDENS

Der analytischen Betrachtungsweise nach einzelnen Klimaelementen oder einiger weniger Kombinationen zwischen zwei Elementen (Kap. 2 bis 9) folgt abschliessend der Versuch einer Synthese in der Form einer räumlichen Klimagliederung.

10.1 Gliederung anhand der alpinen Waldgrenze

Grenzsäume zwischen verschiedenen Vegetations- und Bewirtschaftungstypen beruhen auf unterschiedlichen Strukturen von Boden und Klima, sofern wir uns auf die Naturgegebenheiten beschränken. Dass die obere, natürliche Waldgrenze vornehmlich auf die Sommertemperaturen, insbesondere die mittleren Mittagstemperaturen anspricht, haben bereits A. de Quervain (1903) und H. Brockmann-Jerosch (1919) erkannt. Auf die reliefparallele Hebung der Isothermen im Raume der inneralpinen Massenerhebung im Vergleich zum beidseitigen Alpenvorland weist auch F. Fliri (1975, S. 277) hin. Diesen sommerlichen "Wärmedom" über den Alpen zeigen die Analysen der Höhenlage der Waldgrenze für Graubünden (G. Furrer 1971, G. Dorigo 1975). Als Waldgrenze wurde dabei das höchste Vorkommen geschlossenen Waldes auf einer Testfläche von 10 auf 10 km aufgrund der Landeskarte 1:50'000 definiert; Tab. 62 gibt eine Zusammenfassung.

Tab. 62

Höhenlage der höchsten Vorkommen geschlossenen Waldes pro Testfläche zu 100 km² nach G. Furrer und G. Dorigo,

Waldgrenze m ü.M.	Gebiet
2300-2350	Unteres Münstertal, Ober- und Mittelvinschgau.
2200-2300	Rechtsseitige Inntalketten nordöstlich des Berninapasses über Ofen- zum Reschenpass.
2100-2200	Beidseits der Julier-Albula-Silvrettakette; Puschlav und oberes Bergell.
2000-2100	Uebrigtes Mittelbünden inkl. obere Talabschnitte der südlichen Zuflüsse des Vorderrheins, des Schanfiggs und des Prättigaus; unteres Bergell, oberes und mittleres Misox und Calanca.
1900-2000	Vorderrheintal bis ca. Landquart, inkl. untere rechte Seitentäler sowie linke Seitentäler; südliches Misox
1850-1900	Nordzipfel Nordbündens bis etwa Sargans.

Der zentral- und ostalpine "Walddom" liegt im Mittelvinschgau, in der Ortlergruppe und an der Südflanke der Oetztaler Alpen; an seinem Westrand liegt auf bündnerischem Boden das Münstertal. Von dort erfolgt ein ellipsenförmiges Absinken mit einer alpenparallelen Längsachse. Eine kleinerräumige Regionalisierung in einzelne Kammern tritt nicht in Erscheinung; es dominiert der Abstand zum näheren Alpenvorland. Ziemlich parallel zur Waldgrenze verlaufen in der Nivalstufe die Schneegrenzen: die Firnlinie, die höchste Lage der temporären Schneegrenze am Ende mehrerer Haushaltjahre eines Gletschers (F. Müller e.a. 1976), liegt 700-800 m, die klimatische Schneegrenze (365 Schneedeckentage pro Jahr über eisfreiem Boden, Bd 1/N Nr. 198, 706) 900 bis 1100 m über der Waldgrenze. Auch diese Schneegrenzwerte erlauben keine weitere räumliche Differenzierung. Mikrotopographisch bedingte Lokalklimate wie sie z.B. in den untersten, sommerüberdauernden Schneeflecken, 300-400 m unterhalb der grossräumigen Schneegrenzen, ersichtlich werden, wurden hier absichtlich ausgeschlossen (s.a. G. Vorndran, 1970).

10.2 Gliederung mittels der Niederschlagsverteilung bei verschiedenen Wetterlagen (Strömungslagen)

Klimatologisch ladet das Niederschlagsmessnetz am ehesten ein, kleinerräumige Klimatunterschiede zu erfassen, da es doch 3 bis 4 mal so dicht ist wie dasjenige für die übrigen Wetterelemente. Mehr als Monats- oder Jahressummen interessieren dabei die Reaktionen einzelner Täler oder gar Talabschnitte auf advektive Schlechtwetterlagen mit den in einem Gebirge damit verbundenen Stau- und Föhnmodifikationen der Niederschlagsmengen. Es wurden einige über mehrere Tage (2-4) dauernde Schlechtwetterlagen herausgegriffen, die durch eine möglichst einheitliche Windrichtung über dem Alpenraum gekennzeichnet waren (Bd 1/N Nr. 567 und Bd 3). Die nachfolgend gewählte Reihenfolge solcher Strömungslagen: Süd- über West-, Nord- zur Ostlage, entspricht dem Modellablauf des Durchganges einer Polarfrontzyklone (s.a. Bd 1/N Nr. 251). Pro Wetterlage standen Plotterkarten 1:500'000 der Schweiz mit den Stationssummen zur Verfügung, Programm H. Bantle, MZA.

10.2.1 Südlage (Föhn/Südstau; Südost- bis Südwestströmung), Karte 2

Der Uebergangsstreifen zwischen Südstauniederschlägen und föhnigem, trockenem Wetter liegt üblicherweise auf einem Band, welches sich von der Furka über den Oberalp - Vrin (Lumnezia) - Vals - Hinterrhein - Julier- Berninapass - Ofenpass bis zum Ortler erstreckt. Südlich davon ist mit ergiebigen Südstauniederschlägen zu rechnen, nördlich hievon nehmen die Mengen rasch ab und können bereits in Nordbünden ganz ausbleiben (volle Föhnwirkung).

Maximale Staubeträge erhalten: Bergell (inkl. Maloja), Misox/Calanca, z.T. auch noch das obere Rheinwald und die hintersten Teile der südlichen Vorder- rheintäler sowie das mittlere Tessin (Ceneri-Centovalli). Bei Süd- bis Südost werden zudem die Bergflanken des Gebrigszuges Monte Rosa - Simplonsüdseite - Ceneri - Bergamaskeralpen - Adamello - Ortler stark betroffen.

Erste Föhnwirkungen machen sich bereits nördlich Zuoz - Marmorera - Sufers - Safien Platz - Lumbrein - Somvix bemerkbar. Der Raum nördlich von Ilanz - Chur und des unteren Prättigaus vermag nur der bei stürmischen Höhenwinde auftretende "Dimmerföhn" noch mit Südstauregen zu erreichen, weil dann der volle Föhneffekt sich erst im nördlichen Alpenvorland auswirkt, vgl. Karte 2 im Anhang.

Dem winterlichen Strassendienst sind die markanten Unterschiede von Neuschneemengen auf wenige km Distanz bekannt wie z.B. zwischen St.Moritz/Silvaplana einerseits (wenig) und Sils/Maloja anderseits (viel Neuschnee); ähnliche "Grenzen" gibt es zwischen Hinterrhein und Splügen im Rheinwald oder im hinteren Safien- und Valsertal. Trotz seiner Zugehörigkeit zu den Bündner Südalpen bleibt das mittlere und südliche Puschlav und das Münstertal im Vergleich zum Bergell und obersten Oberengadin solange deutlich von Starkniederschlägen bei Südstau verschont, als im Südwind eine Westkomponente einbezogen ist (SW-strömung gegen die Alpen). Nur bei reinem Süd- oder Südostanströmen fallen in diesen beiden Quertälern bemerkenswerte Mengen. Da die SE-Lagen selten zyklonal sind und die reinen Südlagen nur etwa zu einem Drittel so häufig zyklonal sind wie die Südwestlagen, werden diese Quertäler selten stark betroffen.

10.2.2 Westlage (Zonale Lage)

Im Vergleich zur Südlage ist ein genereller Wechsel in der räumlichen Verteilung der Niederschlagsmenge eingetreten. Die Alpensüdseite erfährt bereits einen Schutz vor Niederschlägen durch die windaufwärts liegenden Walliseralpen. Südlich einer Linie Faido - Olivone - San Bernardino - Maloja - Berninapass - Bormio - Ortler bleibt es meist trocken. Wenig betroffen sind zudem die anliegenden Täler: Rheinwald, Avers, Oberhalbstein, Albula, Oberengadin und Münstertal sowie die oberen Talabschnitte vom Safien-, Valsertal und das Lugnez (Lumnezia). Die Staukomponente ist bereits bei Westwind auf die Alpennordseite übergesprungen und greift dabei in die linksseitigen Vorderreintäler (z.B. Panix), via Schöllenen ins Urserental und via Walensee ins Prättigau über.

Mässig beregnet wird das übrige Mittelbünden inkl. das Unterengadin, welches infolge der Flüelassenke weniger geschützt wird als das Oberengadin.

10.2.3 Nordlage (Nordstau/Nordföhn; Nordwest- und Nordströmung), Karte 3

Mengenmässig erzeugen Nordwestwinde mehr Niederschläge, zudem kommen sie auch doppelt so häufig vor wie die reinen Nordwinde. Aehnlich der Westlage bleiben die Gebiete südlich einer Linie: Biasca - Mesocco - Vicosporano - Poschiavo - Müstair praktisch trocken.

Lediglich südlich der Gotthardsenke greifen die Nordniederschläge etwas weiter südwärts als bei einer Westströmung. Das Oberengadin erfährt, wie das Avers und Rheinwald, bereits einen wesentlichen Niederschlagsschutz. Die Silvrettakette hält nun vom mittleren Unterengadin (Scuol/Schuls) deutlich mehr Niederschlag fern als bei Westwind. Die Engadinerseite des Ofenpasses und das unterste Oberengadin (von S-chanf an abwärts) ist weniger geschützt, da die Windschneisen des Scaletta- und Flüelapasses einigem Niederschlag Durchlass gewähren.

Ziemlich reichlich benetzt werden, in Fortsetzung der Urseren und des Oberalppasses, die linken Vorderrheintäler (z.B. Panix/Pigniu und auch noch Brigels und Flims) als Folge eines übergreifenden Glarner-Nordstaues. Ähnlich betroffen wird das Prättigau bis zum Wolfgangpass und die Silvretta sowie das Becken von Arosa; bedingt durch die Geländeeinschnitte des Walensees und des St.Galler Rheintales. Das Rheintal oberhalb Chur, die rechten Seitentäler des Vorderrheins, das Schams, das Oberhalbstein und das Albulatal werden bereits etwas geschont. Anders als bei Westwindlagen sind die beiden letztgenannten Täler bei Nordwind gegenüber dem geschützteren Rheinwald etwas benachteiligt, da sie einen nach Norden offenen Taltrichter aufweisen, vgl. Karte 3 im Anhang.

10.2.4 Ostlage (Bise; Nordost- und Ostströmung)

Niederschlag fällt vornehmlich in einer Nordostströmung, so finden wir die Merkmale der Nordlagen wieder. Modifikationen erkennen wir im Gotthardraum, wo die Luvauswirkungen den Pass nicht mehr überschreiten (Airolo meist trocken), zumal bereits das Urner Reusstal einen gewissen Niederschlagsschutz durch die Oberalpstock - Claridenkette genießt. Das Ober- und Unterengadin erhalten nur noch unbedeutende Beträge ebenso Mittelbünden westlich der Err - Aelakette sowie die rechtsseitigen Vorderrheintäler.

Verhältnismässig viel erhalten indessen: die obersten Talabschnitte des Avers, Oberhalbsteins (Bivio) und Albulatales (Bergün-Preda), ferner das obere Prättigau (Klosters) und das Aroser Becken. Der maximale Bisenstau verharrt indessen ausserhalb von Graubünden, d.h. nördlich der Scesaplana (Vorarlberg, Allgäu), des Alvierts und des Glärnisch. Reine Ostwindlagen sind etwas häufiger als Nordostlagen, jedoch sind Ostwinde deutlicher durch Hochdruckwetter geprägt, so dass Ostwindniederschläge kaum ins Gewicht fallen.

10.3 Räumliche Synthese

Im Gebirge besteht eine engere Gleichläufigkeit zwischen Niederschlag und Bewölkung als in Flachländern mit ihren häufigen trüben, aber niederschlagsfreien Nebel- und Hochnebelperiode. Trotzdem ist nicht ausser acht zu lassen, dass die in 10.2 behandelte Niederschlagsmenge nicht identisch ist mit der Niederschlagshäufigkeit (s. Kap. 7.1.5 Niederschlagsdichte). Aus dem Verhalten des Kantonsgebietes bei den vier Strömungslagen (Kap. 10.2) wird eine Zweiteilung Bündens erkennbar:

A. Nördlicher Teil, im Süden begrenzt durch die Berge Pizzo Centrale - Piz Medel - Surettahorn - Err - Albula - Silvretta. Südlagen sind vorwiegend niederschlagsarm. West und vor allem Nordlagen bringen jedoch schlechtes Wetter.

B. Südlicher Teil mit dem Engadin und den bündner Südtälern, inkl. oberste Talabschnitte des Oberhalbsteins, (Bivio), Avers, Rheinwald, Vals, Lungnez, Somvix und der Val Medel. Südlagen führen zu den Hauptniederschlägen, besonders im Winterhalbjahr, wo der leichte Schneefall weiter über die Südalpenkette nordwärts verfrachtet werden kann. West- und Nordlagen erzeugen dagegen hier mehr Wind und Schneeverfrachtungen, jedoch keinen nennenswerten neuen Niederschlag. Die hier genannten Rheinquellgebiete sind als Uebergangssaum Nord-Süd zu werten.

Da die Anzahl der Wetterlagen mit Winden aus dem Sektor West über Nord bis Nordost im Normaljahr deutlich höher ist als die mit einer Südkomponente (1955-1967 31 % gegenüber 16 %, wobei in den 31 % West/Nordlagen auch 8 % eher harmlose NE-Lagen enthalten sind; F. Fliri 1970, S. 137), ist bei Strömungslagen, die knapp 60 % aller Tage pro Jahr bestimmen, der südliche Teil Bündens wettermässig bevorzugt. An den übrigen gut 40 % aller Tage wirken die strömungsschwachen Wettertypen ausgleichend, da sie kaum Stau- und Föhn-effekte ermöglichen. Zweidrittel dieser ruhigen Lagen zeigen hochdruck- oder zumindest Flachdruckcharakter (indifferenter Typ), wodurch auch der Nordteil zu angenehmem Wetter kommt, welches oft den ganzen Alpenraum begünstigt.

Die nachfolgend versuchte feinere räumliche Klimagliederung basiert allein auf die windbedingten Schlechtwetterlagen, welche durch die Geländekonfiguration am stärksten modifiziert werden.

Wettermässig an der Spitze im begünstigteren Teil Graubündens dürfte das Münstertal, besonders der untere Teil zwischen Valchava über Sta. Maria bis Müstair (weiter talabwärts nach Taufers im Vinschgau) stehen. Nebst pflanzengeographischen Eigenheiten dürfte als Beweis dieser Klimagunst auch die Tatsache gelten, dass heute noch in Valchava und Müstair künstliche Bewässerungen der Felder in Betrieb sind, d.h. wie nur noch im Wallis, ebenso talabwärts bis Glurns und Mals im Vinschgau (G. Furrer und R. Freund 1974; E. Ambühl 1954, Bd 1/N Nr. 035; O. Müller (1936); tiefe Staubewölkung und Hochnebel sind dort seltener als in anderen Südtälern ebenso Gewitter und Starkwinde, doch auch hier überwiegen wie im Wallis die Talaufwinde (Windformen von Bäumen). Kaum nachstehend ist klimatisch das Unterengadin zu werten, vor allem der mittlere Teil um Scuol/Schuls herum. Keine Strömungslage bringt ungewöhnlich hohe Niederschläge (am ehesten im Winter via Flüela über Susch hinweg bis gegen Ftan); früher wurde auch dort bewässert (s.a. A. Arquint 1954). Gewitterfronten mit Windböen sind hier ebenfalls eine Rarität (von Westen her möglich). Winterliche Hochnebel erreichen kaum das Unterengadin (vom Nordtirol her möglich bei Bise). Die Windarmut des Unterengadins stellt einen bioklimatischen Vorzug dar, welcher dem Besucher vor allem in den Terrassenorten von Ftan, Sent und Tschlin auffällt, wenn er deren Sommerwärme mit den nur wenig höher gelegenen malojawinddurchströmten sommerfrischen Oberengadinergemeinden vergleicht. Lediglich im oberen Talabschnitt, zwischen Guarda und Bos-cha, macht sich im Sommer zwischen etwa 10 h und abends ein dem Malojawind ähnelnder Talabwind bemerkbar, vermutlich ein verlängerter Prättigauer Talaufwind vom Flüelapass her (Bd 1/N Nr. 664). Scuol dürfte eine der windärmsten Gemeinden der Schweiz sein (nach Bd 1/N Nr. 427 Sommermittel nur 3-4 km/h), da weder ausgeprägte tagesperiodische, noch starke Schlechtwetterwinde üblich sind.

Anschliessend dürften in der Gunstreihe das Puschlav, das Oberengadin, das Bergell und das Misox mit dem Calancatal folgen. Alle sind dem Südtau unterworfen, am stärksten das Bergell und Misox. Im Oberengadin kann dabei bisweilen bereits die Berninakette als Wetterscheide amten und unter-

halb St.Moritz - Pontresina Föhnwetter erzeugen. Häufiger übernimmt jedoch die Albulakette diese Trennfunktion. Andererseits überziehen die Nordstauwolken in der Mehrheit der Nordlagen auch das Oberengadin; Nordföhnaufhellungen setzten dann erst auf der Südseite des Bernina- und Malojapasses ein (Bd 1/N Nr. 227, 228, 737). Im Gegensatz zum Unterengadin, Münstertal und auch Puschlav ist das Haupttal des Oberengadins zur Aperzeit stark dem tagesperiodischen Malojawind unterworfen (Kap. 9.2). Er wirkt bei den auf 17-1800 m Höhe normalerweise bereits gedämpften Wärmegraden der Luft oft unangenehm kühl und stellt einen der Gründe dar, dass bioklimatisch das Haupttal in die obereste Reizstufe der vierteiligen Klassierung der Schweizer Kurorte gelangt (s. Bd 1/N Nr. 586). Ein Ausweichen in die Seitentäler des Oberengadins (z.B. Pontresina, Rosegtal), die nicht mehr vom Malojawind bestrichen werden, kann sich günstig auswirken. Nicht nur der Südstauwind, sondern auch nördliche Winde sind im oberen Teil des Oberengadins, im Bergell und im Berninapassbereich (Pontresina - Poschiavo) stärker als im Unterengadin und Münstertal (Ausnahme Buffalora - Ofenpass). Frühere Bewässerungsanlagen zeigen auch hier die schädlichen Einflüsse wiederholter Trockenperioden auf die Landwirtschaft (H. Schmid 1955).

Dem unteren Oberengadin am ähnlichsten ist die Talgabelung bei Bivio, das Avers und das Rheinwald. Nebst der noch ziemlich einflussreichen Südstaulagen (vor allem im Winter) sind hier die West- und Nordlagen nur unwesentlich verstärkt. Dank ihrer Höhenlage (1400-1800 m ü.M.) sind die bei Bise vom Alpennordhang herangeführten Hochnebelfelder nur selten wirksam; Schlechtwetternebel bei Nordstau stellen den einzigen grösseren Unterschied zum Oberengadin dar. Besonders das Rheinwald ist den Winden (Bise, Föhn, West) stark ausgesetzt (W. Oswald, 1931).

Dem ganzen südlichen Kantonsteil gemeinsam ist das fast völlige Fehlen schwerer Stürme. Windspitzen von 80 und mehr km/h sind eine Seltenheit. Aus Chroniken wird ersichtlich, dass nur 2 bis 3 mal pro Jahrhundert Meldungen über abgedeckte Hausdächer vorliegen, so z.B. aus dem Oberengadin anno 1834 und am 1.Juli 1897 in Madulain in einem Gewittersturm nach grosser Hitze. Aehnliche Schäden erzeugte ein Sturm an 30.März 1878 am Hospizgebäude auf dem Berninapass. Solche Schäden können nur schwere Sturmböen von mindestens 120 bis 140 km/h erzeugen. Häufiger sind Ueberschwemmungen als Südstaufolge;

z.T. verbunden mit intensiver Schneeschmelze eingetreten. So wurde das Oberengadin in den letzten 100 Jahren überschwemmt: 27.9-3.10.1868, 10.9.1888, 23.9.1920. 25.9.1927, 9.8.1951, 21./22.8.1954, 2./3.9.1956 und 16./17.9.1960 (G.A. Töndury e.a. 1957). Hier hat die Talbodenverschuttung durch den Gletscherrückgang der letzten 100 Jahre ungünstig mitgewirkt (G. Gensler 1953 und Bd 1/N Nr. 233); besonders betroffen wurde oft das Bergell.

Im nördlichen Kantonsteil hängt die Klimagunst von der Anfälligkeit auf Stauerscheinungen aus dem Sektor West bis Nord ab. Diese dürften im obersten Prättigau, im Vereina- und Sardascatal oberhalb Klosters am grössten sein, ähnlich dem benachbarten Montafon und Klostertal im Anstieg zum Arlbergpass. Das Flüela- und Dischmatal reagieren ähnlich; sie werden in den oberen Teilen zudem von starken Winden bestrichen (Schneeverfrachtungen, Lawinen). Für Föhnaufohellungen bei Südlagen sind die genannten Täler noch zu nahe an der Wolkenscheide, Wolkenauflöckerungen können sich nur vorübergehend durchsetzen.

Am gegenüber liegenden Aussenposten Graubündens, im Tavetsch, am Oberalppass und ~~etwas abgewandt~~ auch noch im Val Medel und Val Sumvitg (Somvix) geben sich, nahe der schmalsten Stelle der Alpen, die Schlechtwetterwinde aus Süd, West und Nord ein Stelldichein und die dazugehörenden Stauerscheinungen können schlimmstenfalls ineinander übergehen wie dies im angrenzenden Urseren- Gotthard- und Furkagebiet zu befürchten ist. Der Westwinkel Bündens kommt daher bei den Strömungslagen am schlechtesten weg; glücklicherweise wirken sich auch dort noch an gegen 30 % aller Tage im Jahr windschwache, angenehme Wetterlagen aus, besonders im Herbst und Winter, weil, wiederum dank ihrer Höhenlage, Hochnebefelder nur seltene Gäste sind. Im Hochsommer ist dank des Windschutzes das mittägliche Temperaturniveau recht hoch (s.a. W. Leemann, 1929).

Bereits weniger schlechtwetterexponiert sind die rechten Seitentäler des Vorderrheins: das Lugnez, das Valser- und das Safiental. Die oberen Talhälften sind besonders im Winter und Frühling noch erheblich den Südtauschneefällen unterworfen. Die Einheimischen im ganzen Talbereich halten sich zu dieser Zeit denn auch mehr an die Wetterprognose für die Südschweiz. Schneefälle von Norden sind wenig ergiebig. Erst die linksseitigen Abhänge

des Vorderrheintales erhalten bei Nordlagen merkliche Schneefälle, die über die Glarner/Bündler Grenzalpen herübergeweht werden (z.B. Laax, Flims, aber nicht mehr Ilanz). Die rechten Vorderrheinseitentäler geniessen ziemlichen Windschutz, der Föhn wirkt sich nur im Safiental (besonders in höheren Lagen) stärker aus. Orte im Haupttal des Vorderrheins wie Obersaxen-Surcuolm sind gegenüber dem Valsertal und dem Lugnez deutlich windreicher.

Im Sommer, der föhnarmen Zeit, wird der Einfluss des West- und Nordwetters bis zur Südalpenkette dominant. Dies hat zur Folge, dass Wetterkenner in Mittelbünden zu dieser Jahreszeit mehr auf die Wetterprognose für die Alpennordseite vertrauen. Sogar im Engadin sind kalte und nasse Sommerwochen einer übernormalen Nordlagenhäufigkeit zuzuschreiben; erst die Südalpentäler sind vor ihnen weniger betroffen.

Im Gegensatz zu den rechten Seitentälern des Vorderrheins sind nebst dem Haupttal besonders die linken Seitentäler recht starken Schlechtwetterwinden ausgesetzt (z.B. Pigniu/Panix, A. Spescha 1973). Im Sommer können es Gewitterfronten aus Südwesten bis Westen sein, im Winter Kaltlufteinbrüche, die mit heftigen Windböen Wald- und Flurschäden erzeugen; mehrmals in einem Jahrhundert ist von Föhnstürmen bis ins Churer und St.Galler Rheintal hinunter die Rede. Andererseits sind auch in Nord- und Mittelbünden Hagelschläge sehr selten. Im Surselvischen wird daher für "Hagel" dasselbe Wort verwendet wie für die häufigeren Un- und Sturmwetter ("tempiasta", A. Spescha 1973). Schlechtwetternebel sind an beiden Talhängen der Surselva oft hartnäckig, "schwer und nass". Bei Föhn fällt zwar kaum Regen, aber für den nächsten Tag wird auf Schlechtwetter getippt, da meist rasch ein Föhnzusammenbruch mit West- oder Nordlage folgt. Herbst- und Winternebel (Hochnebel) sind seltener (eher im Herbst möglich als im Winter) und weniger dicht als Schlechtwetternebel. Bei nicht zu starkem Nordstau reisst über der Talmitte des Vorderrheins die Wolkendecke auf, dank des recht breiten Talquerschnittes; so kann in Brigels oder Flims, bei gleichzeitigem Niederschlag von Norden her, die Sonne durchblicken.

Wie die Niederschlagskarte im Atlas der Schweiz, Blatt Nr. 12 zeigt, ist die Trockeninsel Mittelbündens die begünstigste Wetterzone des Nordteiles von Graubünden. Das Domleschg, das Schams, das Oberhalbstein

unterhalb Tinzen (Tinizong), das Albulatal zwischen Thusis über Tiefencastel nach Filisur sowie die anliegenden Südhänge von Brienz über Alvaneu - Schmitten nach Wiesen sind nicht nur trockener, sondern oft auch wolkenärmer und - besonders die zuletzt genannten Südhangstationen - infolge zusätzlichen Windschutzes oft "um einen Tschopen wärmer" als das zügigere Landwassertal oder die Lenzerheide (s.a. Bd 1/N Nr. 420). Die tiefgelegene, breite Wanne des Domleschg stellt eine klimatische Oase dar. Sein Klima weist die kontinentalsten Züge Rheinbündens auf. Die Sommerwärme liegt sogar im nicht besonders günstig gelegenen Thusis um rund 0.5 Grad höher als in gleicher Ortshöhe im Churer-Rheintal, im Winter jedoch etwa gleich viel tiefer (Bd 1/C-1). Die rechtsseitigen Terrassen- und Hangorte dürften dank ihrer Lage oberhalb des talsohlennahen Kaltluftsees das grösste Wärmeplus geniessen. Dieser Vorteil ist verbunden mit recht kleinen Niederschlagsmengen (vgl. Tomils Tab. 33) und gutem Nordwindschutz, wodurch dieser Talabschnitt klimatisch dem Mittelwallis am ähnlichsten sein dürfte (Chr. Caflisch, 1939).

Auf der Valbella, zwischen Parpan und der Lenzerheide sowie auf dem Wolfgangpass (Klosters - Davos) herrscht ziemliches Passwetter: lebhaft thermische und dynamische Nordwinde mit zeitweise dichten Schlechtwetternebeln oder als Gegenstück klarer, aber zügiger Föhn (H. Bach 1907, U. Senn 1952).

Wesentlich niederschlagsreicher und damit im Winter schneesicher ist die Bergschale von Arosa. Schwere, nasse Nordstaunebel können mit wind-schwachen Glanztagen abwechseln. Dieser Windschutz ist, unterstützt durch die Fichtenwälder um Arosa, ein für die erhebliche Höhenlage von 1800 m ü.M. gegenüber den beiden letztgenannten Passregionen und dem Oberengadiner Haupttal wesentlicher bioklimatischer Vorzug (Bd 1/N Nr. 247).

Wie das Schanfigg ist auch das obere Albulatal (Bergün - Preda) und das Prättigau zwischen Seewis/Grüsch und Klosters anfälliger auf West- und Nordstau als die erwähnte Trockeninsel im westlichen Mittelländern (E. Flütsch, 1976). Diese Täler sind recht windarm und der Föhn weht nur mässig stark. Im unteren Prättigau kommt der Föhn im Herbst und Winter kaum je bis zur Talsohle durch infolge des durch die Klus gestauten Kaltluftsees zwischen Schiers und Grüsch. Im Schanfigg ereignet sich im Schnitt nur etwa alle 5 Jahre ein örtlich begrenzter Windwurfschaden in den Wäldern infolge seltenen Föhn- oder Weststurmes (W. Nigg, 1948 S. 73).

Dank des unteren Talabschlusses, der Klus, weist das Prättigau trotz seiner niederen Höhenlage über Meer recht wenig Hochnebel auf. Im Sommer ist dank der thermisch bedingten Talaufwinde die Taldurchlüftung im unteren Prättigau besser, was an den talaufwärts weisenden Wuchsdeformationen der Obstbäume sichtbar wird und somit das Einfließen des Rheintalwindes durch die Klus demonstriert. Das Prättigau weist mit seinem subozeanischen Klima die meisten reinen Buchenwälder Bündens auf. Es zeigt als "Wiesental" seine pflanzen-geographische und klimatische Verbindung zur Nordschweiz (Nordbündner Syno-ökosystem nach J. Braun-Blanquet, 1969).

Der unterste Abschnitt des Bündner Rheintales, zwischen Chur und der Bündner Herrschaft, genießt sowohl die Föhnwärme im Frühling und Herbst (Wein- und Edelobstbau) als auch eine relative Nebelarmut im Winter. Staulagen sind dagegen recht niederschlagsreich.

Die Taldurchlüftung funktioniert besonders im Sommerhalbjahr bei sonnigem Wetter bisweilen unangenehm gut. Der tagesperiodische Talaufwind erreicht nämlich ähnliche Stärkegrade wie der bekanntere Walliser Talwind nachmittags; auch hier können Bäume durch ihre Kronenverformungen sichtbar machen, woher üblicherweise der Wind zwischen Bad Ragaz und Bonaduz bläst. Im Herbst und Winter, der sonst inneralpin windschwächeren Zeit, braust recht oft der Föhn als ungebetener Gast durch das Vorderrheintal und vernichtet in seinen unteren Talabschnitten binnen 24 Stunden alle Winterfreuden (H. Bernhard, 1937). Im Sommer können gelegentliche Gewitterfronten, die vom Walensee und Sargans eindringen, Sturmböen das Churer Rheintal aufwärts schicken.

Der zu dieser räumlichen Klimasynthese benötigte Textumfang ist eine direkte Folge des "Landes der 150 Täler". Ebenso reichhaltig wie die Topographie Graubündens ist nicht nur seine lokalklimatische, sondern auch seine Natur- und kulturlandschaftliche Gliederung. Klimatologische Detaillierungen sind anhand der notgedrungenen beschränkten Anzahl von Beobachtungsstationen innerhalb des schweizerischen Stationsnetzes unmöglich. Die erst seit wenigen Jahren täglich ein- bis zweimal eintreffenden Wolkenaufnahmen von Wettersatelliten im Hochauflöseverfahren erlauben trotz des hierfür recht kleinem Massstabes von ca. 1:4 Mio einige mesoräumliche Details in der Wolkenverteilung innerhalb des Alpenraumes zu erkennen, die nur dem aufmerksamen Einheimischen bekannt sind; mesoklimatische Auswertungen dieser Bilder, kombiniert mit den wesentlich detaillierter zeichnenden, aber seltener eintreffenden LANDSAT-Aufnahmen, dürften noch manche lokalklimatischen Eigenheiten enthüllen.

Figuren- und Kartenverzeichnis

- Fig. 1 Jahresgang der relativen Sonnenscheindauer von Landquart-Plantahof und Arosa
- Fig. 2 Säkularer Gang der jährlichen Sonnenscheindauer für Lugano und Davos
- Fig. 3 Jahresgang der Temperaturunterschiede zwischen Arosa und Bever, sowie zwischen Chur und Schiers
- Fig. 4 Jahresgang der Höhenlage ausgewählter Isothermen der Lufttemperatur für Graubünden
- Fig. 5 Jahresgang der Lufttemperatur in drei Höhenlagen
- Fig. 6 Vertikale Temperaturverteilung frühmorgens über dem Oberengadin aufgrund von Flugzeugsondierungen
- Fig. 7 Zahl der Tage mit Nebel im Jahresverlauf an fünf ausgewählten Orten
- Fig. 8 Querprofil Nord - Süd der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Geländeverlauf
- Fig. 9 Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen am Beispiel Nordbündens
- Fig. 10 Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen am Beispiel eines inneralpinen Tales
- Fig. 11 Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen am Beispiel Südbündens
- Fig. 12 Das tagesperiodische Talwindssystem des Oberengadins: der Malojawind
-
- Karte 1 Räumliche Gliederung Graubündens, mit Erläuterungsblatt
- Karte 2 Südstaulage, dargestellt anhand einer üblichen Verteilung der Niederschlagsmengen in Bünden
- Karte 3 Nordstaulage, dargestellt anhand einer üblichen Verteilung der Niederschlagsmengen in Bünden.

Fig. 1 Jahresgang der relativen Sonnenscheindauer (rs)
in Prozenten
L = Landquart-Plantahof, 530 m ü.M.
A = Arosa, 1864 m ü.M.

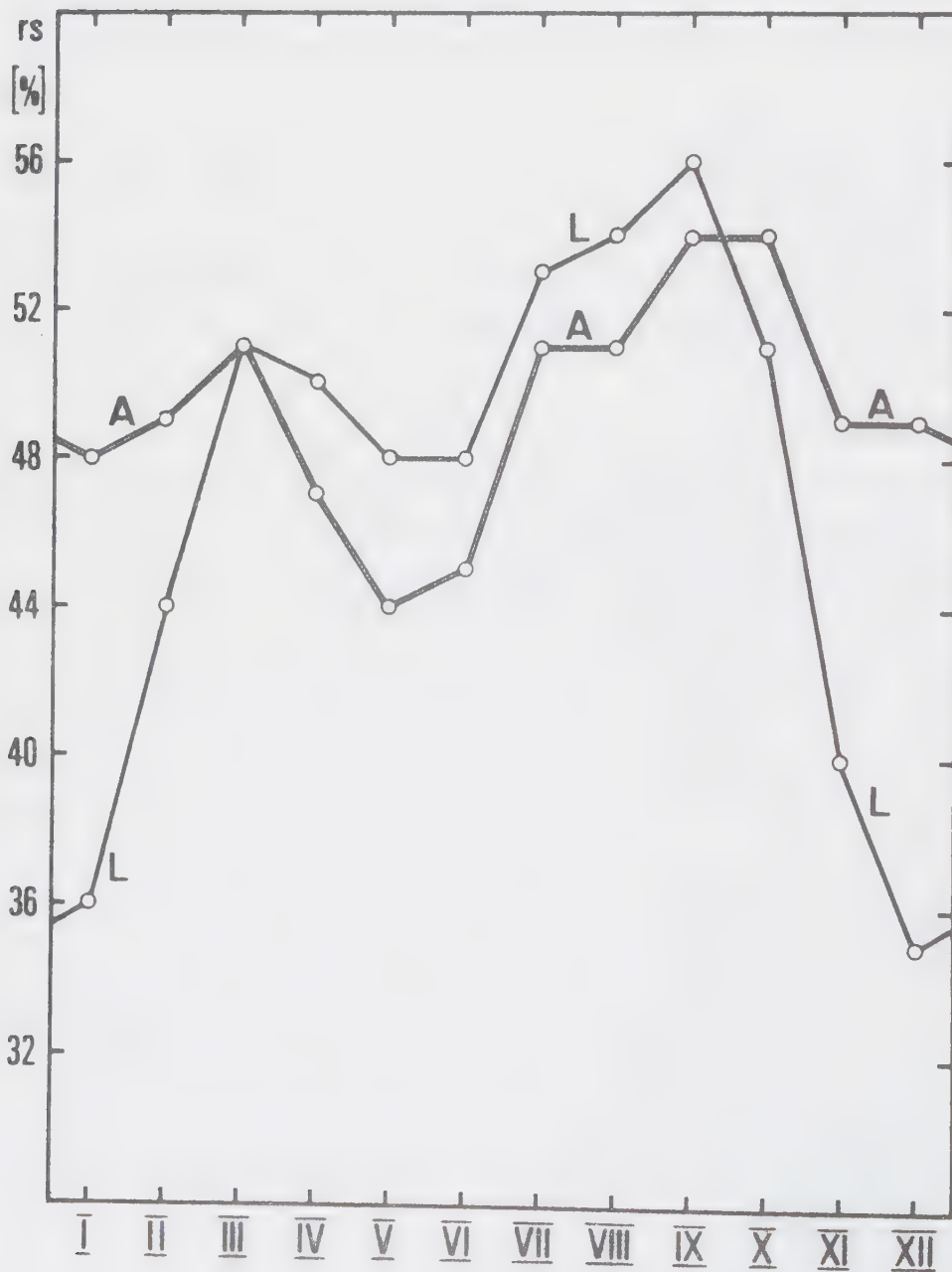


Fig. 2 Säkularer Gang der jährlichen Sonnenscheindauer
in Stunden und des Bedeckungsgrades in Prozenten
(Ordinatenachse gegenläufig).
Fünfjahresabschnitte (Lustrenmittel) ab 1886/90
(Messbeginn 1886) bis 1971/75 für Lugano und Davos.

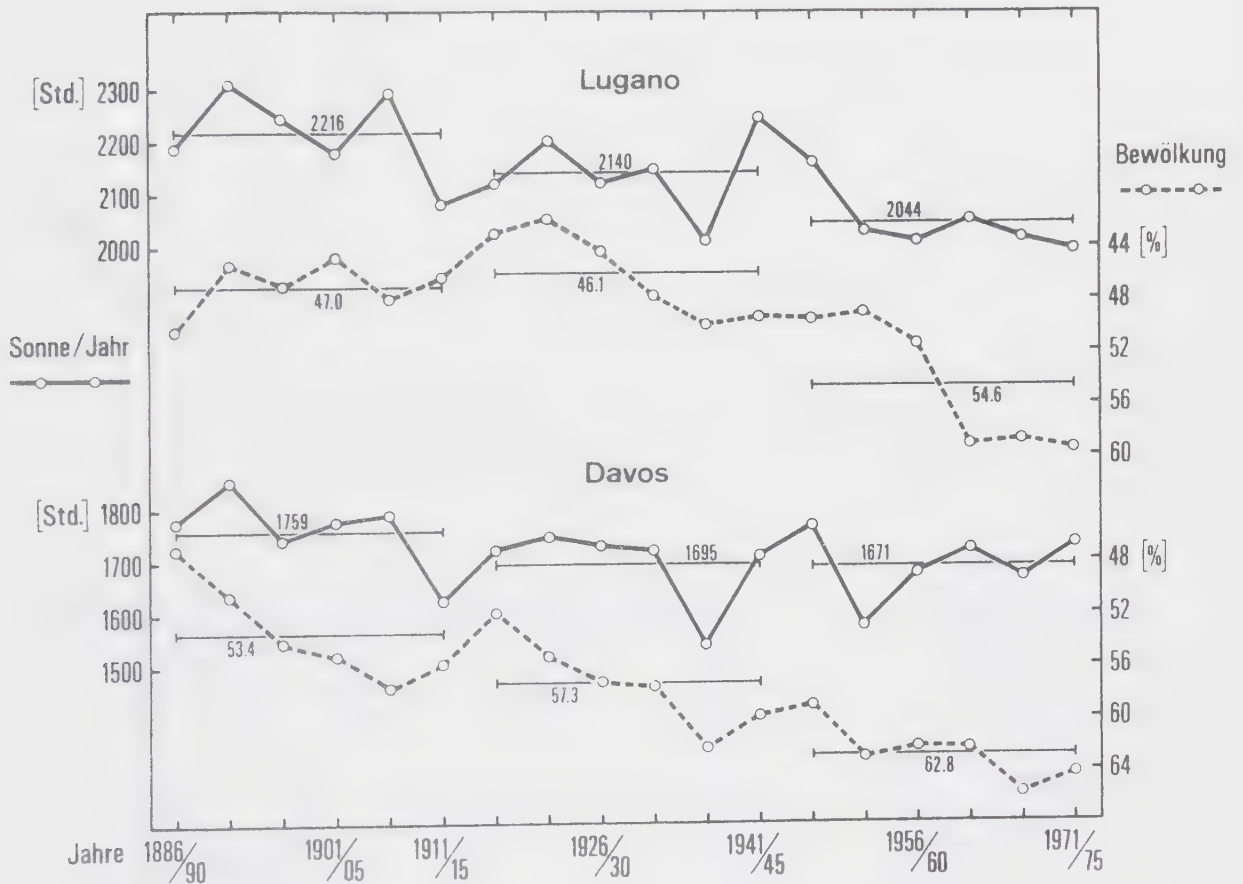


Fig. 3 Jahresgang der monatlichen Temperaturunterschiede zwischen Arosa und Bever (ausgezogene Linie) sowie zwischen Chur und Schiers (gestrichelte Linie) in °C für den Zeitabschnitt 1901 bis 1960.

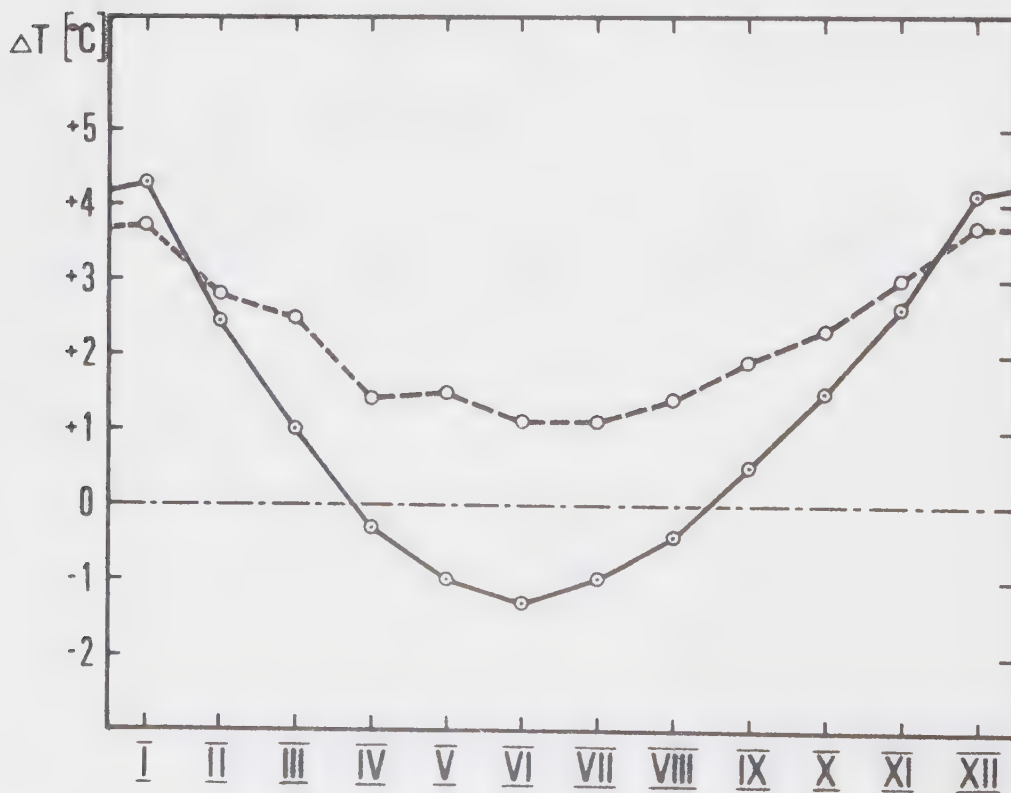


Fig. 4 Jahresgang der Höhenlage über Meer ausgewählter Isothermen der Lufttemperatur aufgrund des Bündner Bodennetzes.
Flache Talböden im Winterhalbjahr gesondert berücksichtigt (Inv. = Inversionsbecken).

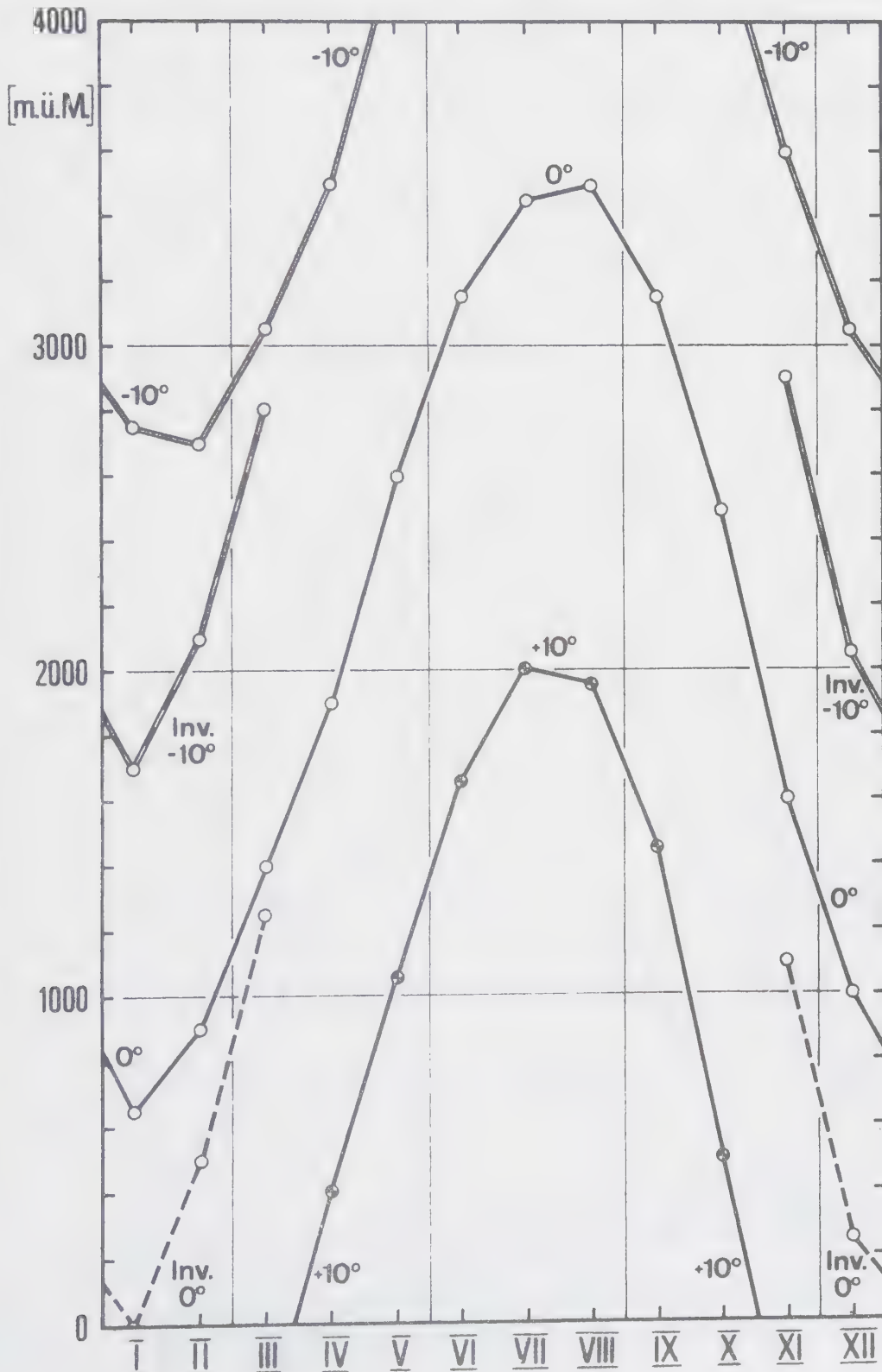


Fig. 5 Jahresgang der Lufttemperaturen in drei Höhenlagen,
Periode 1901 bis 1960:
C = Chur 586 m ü.M.
D = Davos 1560 m ü.M.
W = Weissfluhjoch 2667 m ü.M.

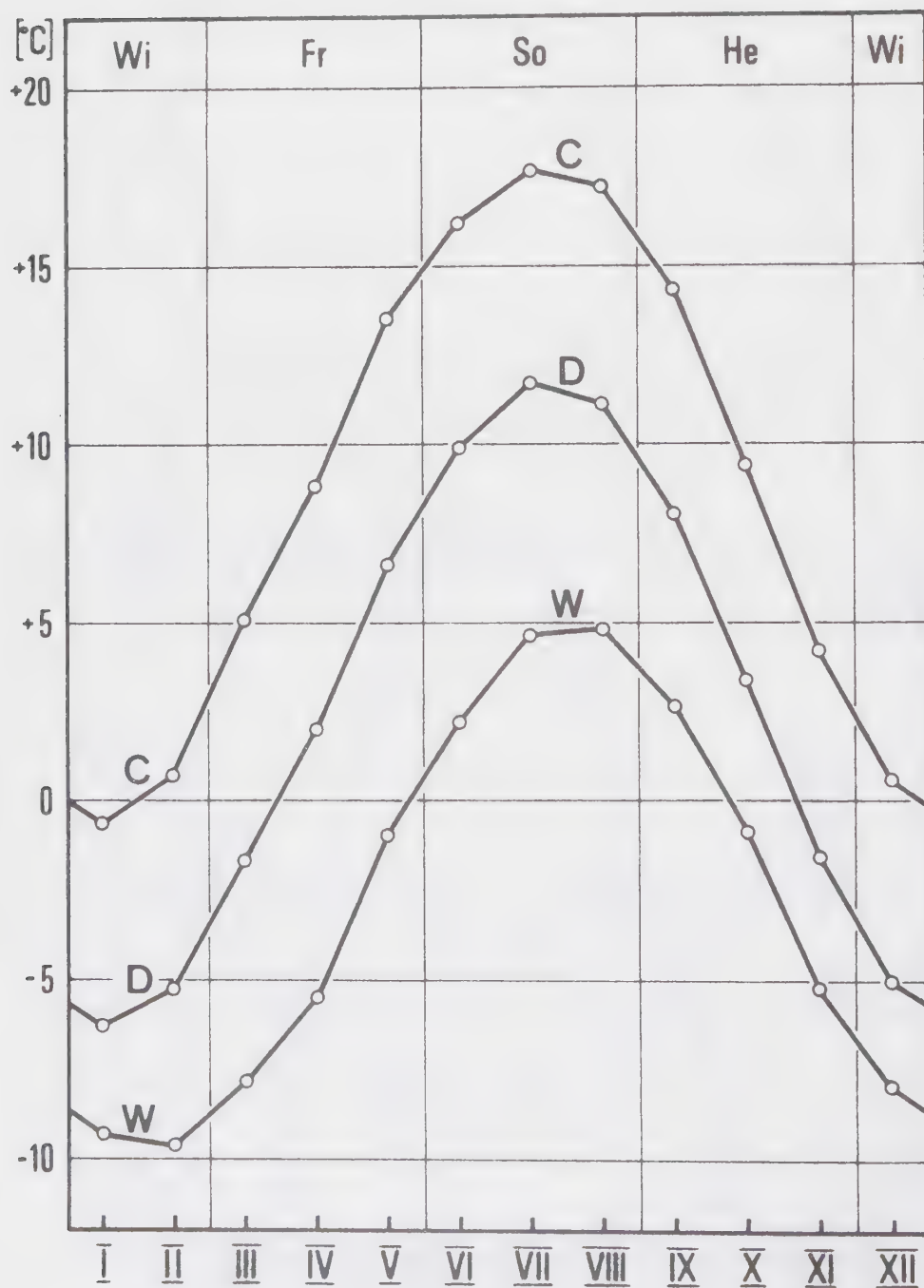


Fig. 6 Fünf Flugzeugaufstiege über dem Oberengadin, Start auf dem Flugplatz Samedan zwischen 06.20 und 0640 h, 30.Juli bis 3.August 1947, etwa bei Sonnenaufgang.

Δt = Differenz zur Starttemperatur t_0 (Mittel +6.2°C)

Vergleich zu 5 Stationen für dieselben 5 Tage:

- | | |
|---------------|-------------|
| 1 = Bever | 1710 m ü.M. |
| 2 = St.Moritz | 1853 m ü.M. |
| 3 = Arosa | 1864 m ü.M. |
| 4 = Säntis | 2500 m ü.M. |
| 5 = Pian Rosà | 3488 m ü.M. |

Symbole für die Stationstemperaturen:
schwarz = Nachtminimum
weiss = um 07.30 h

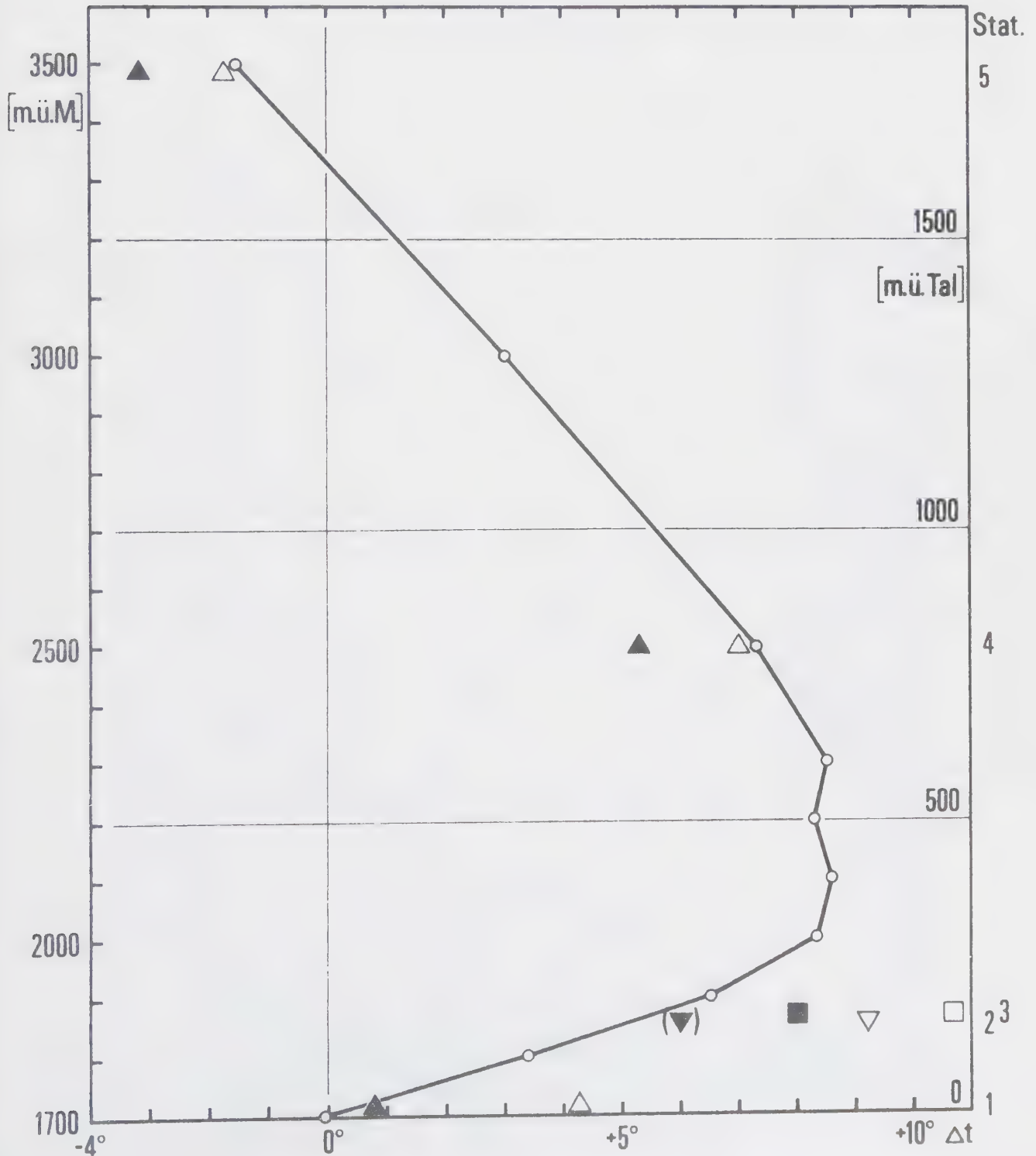


Fig. 7 Zahl der Tage mit Nebel für den Zeitabschnitt
1931 bis 1960:
S = Säntis 2500 m ü.M.
W = Weissfluhjoch 2667 m ü.M.
A = Arosa 1864 m ü.M.
R = Bad Ragaz 510 m ü.M.
B = Bever 1712 m ü.M.

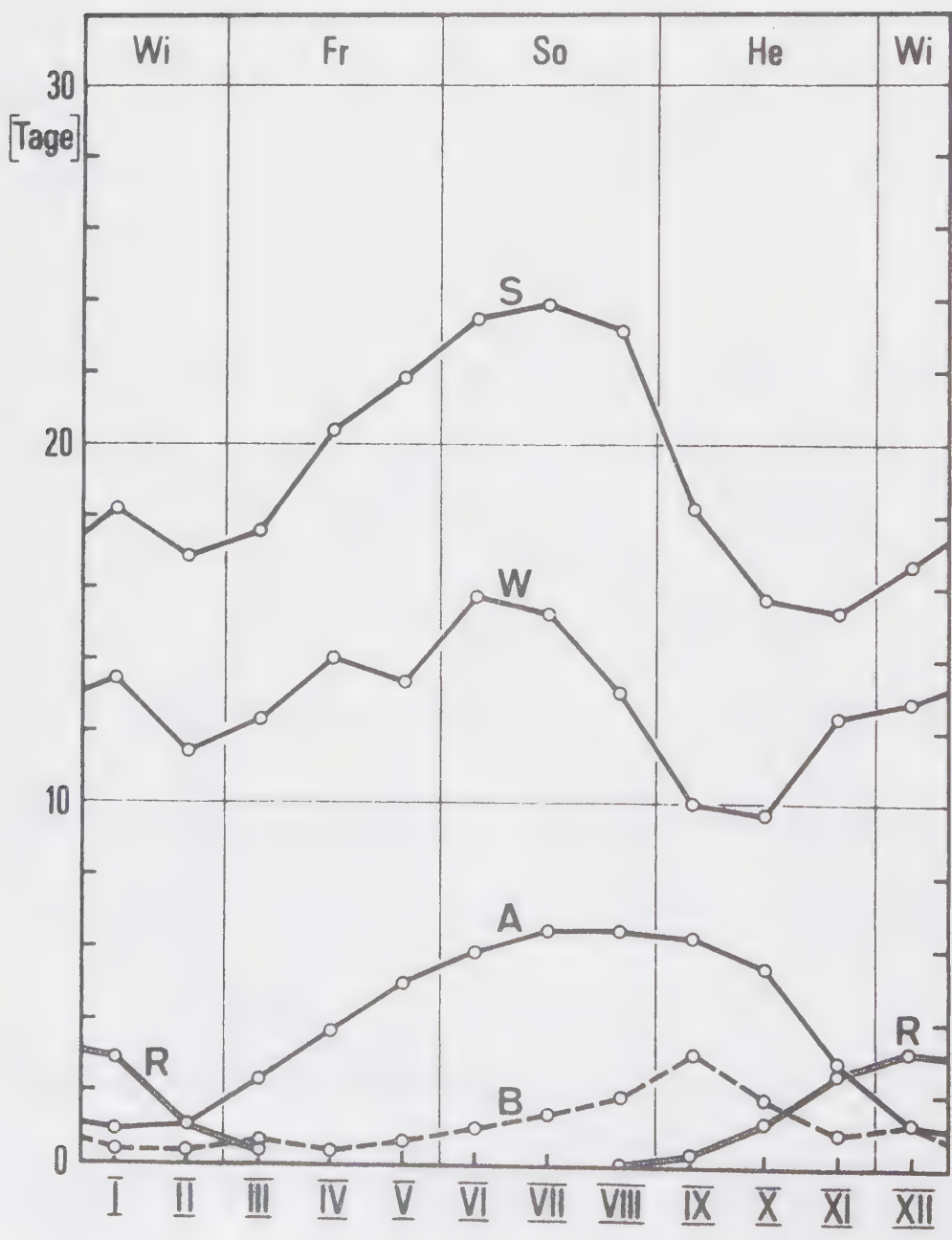


Fig. 8 Querprofil des Geländes von Norden nach Süden (Punktraster unten) und der Jahressumme des Niederschlages für 1931 bis 1960 (oben) für die Strecke Sargans - Chur - Arosa - Tiefencastel - Julierpass - Oberengadin - Malojapass - Bergell/Misox - Bellinzona.
(Julier- und Malojapass interpolierte Werte aus Periode 1901/40)

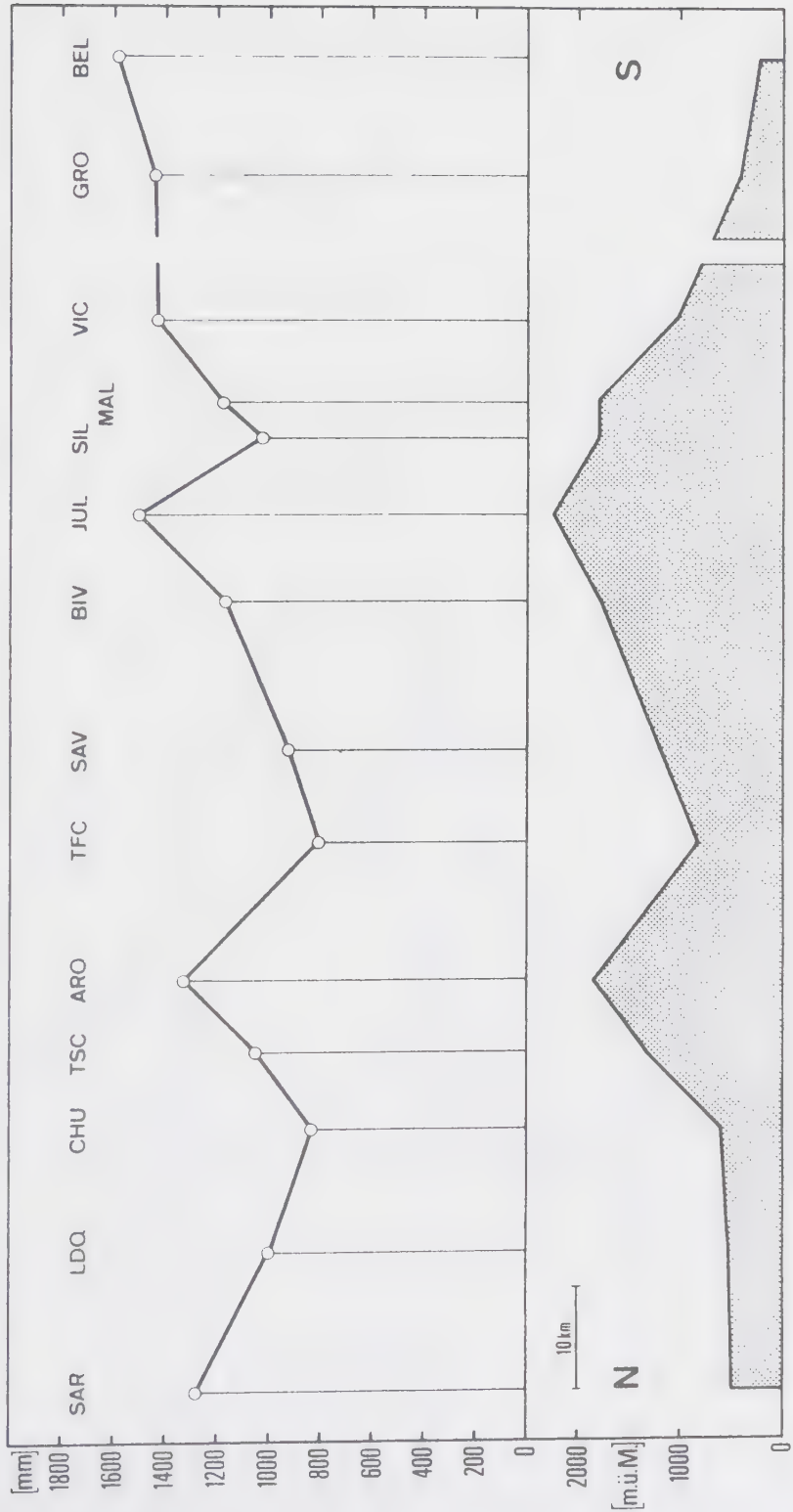


Fig. 9 Monatssummen des Niederschlages in mm,
Beispiel Nordbünden (Plessur/Schanfigg),
Periode 1931 bis 1960.
A = Arosa 1864 m ü.M. C = Chur 586 m ü.M.

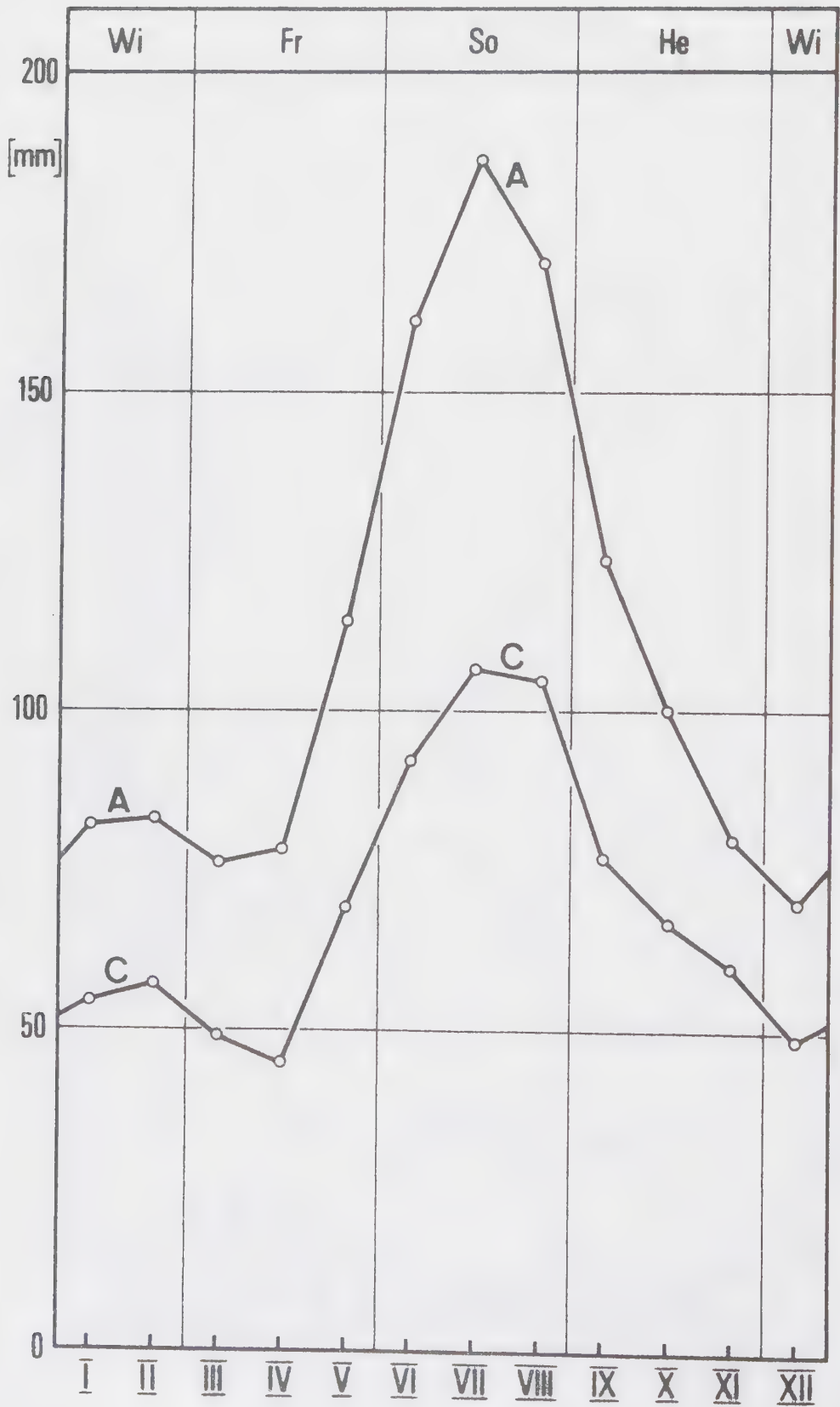


Fig. 10 Monatssummen des Niederschlages in mm,
Beispiel inneralpines Tal (Oberinntal im Nord-
tirol, nach F. Fliri 1975, S. 371).
Periode 1931 bis 1960.
HS = Hochserfaus 1806 m ü.M.
R = Ried 878 m ü.M.

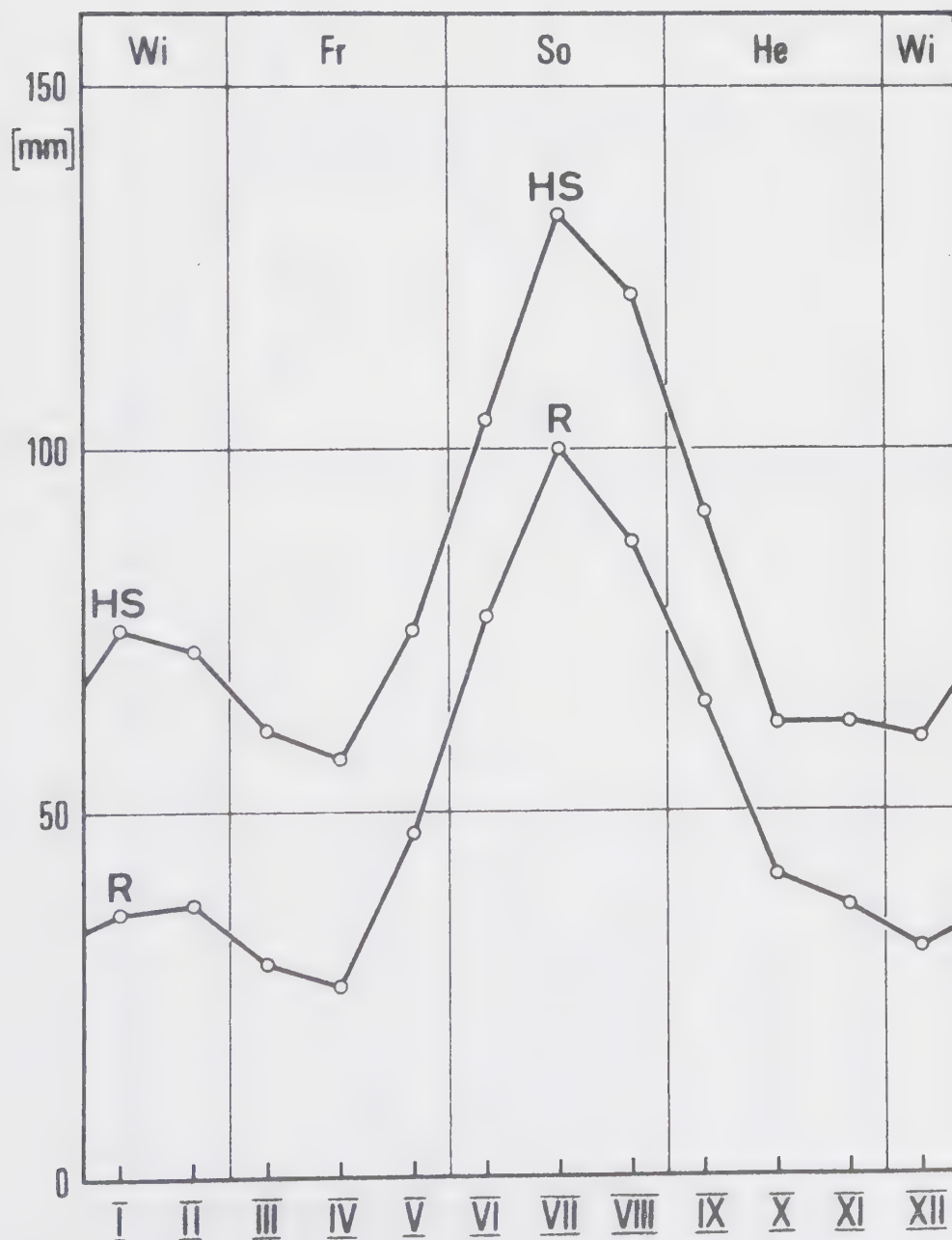


Fig. 11 Monatssummen des Niederschlages in mm,
Beispiel Südbünden (Poschiavino/Puschlav,
nach F. Fliri 1975, S. 375) 1931 bis 1960.
B.H. = Bernina-Hospiz 2240 m ü.M.
L.R. = La Rōsa 1700 m ü.M.
Cp = Campocologno 535 m ü.M.

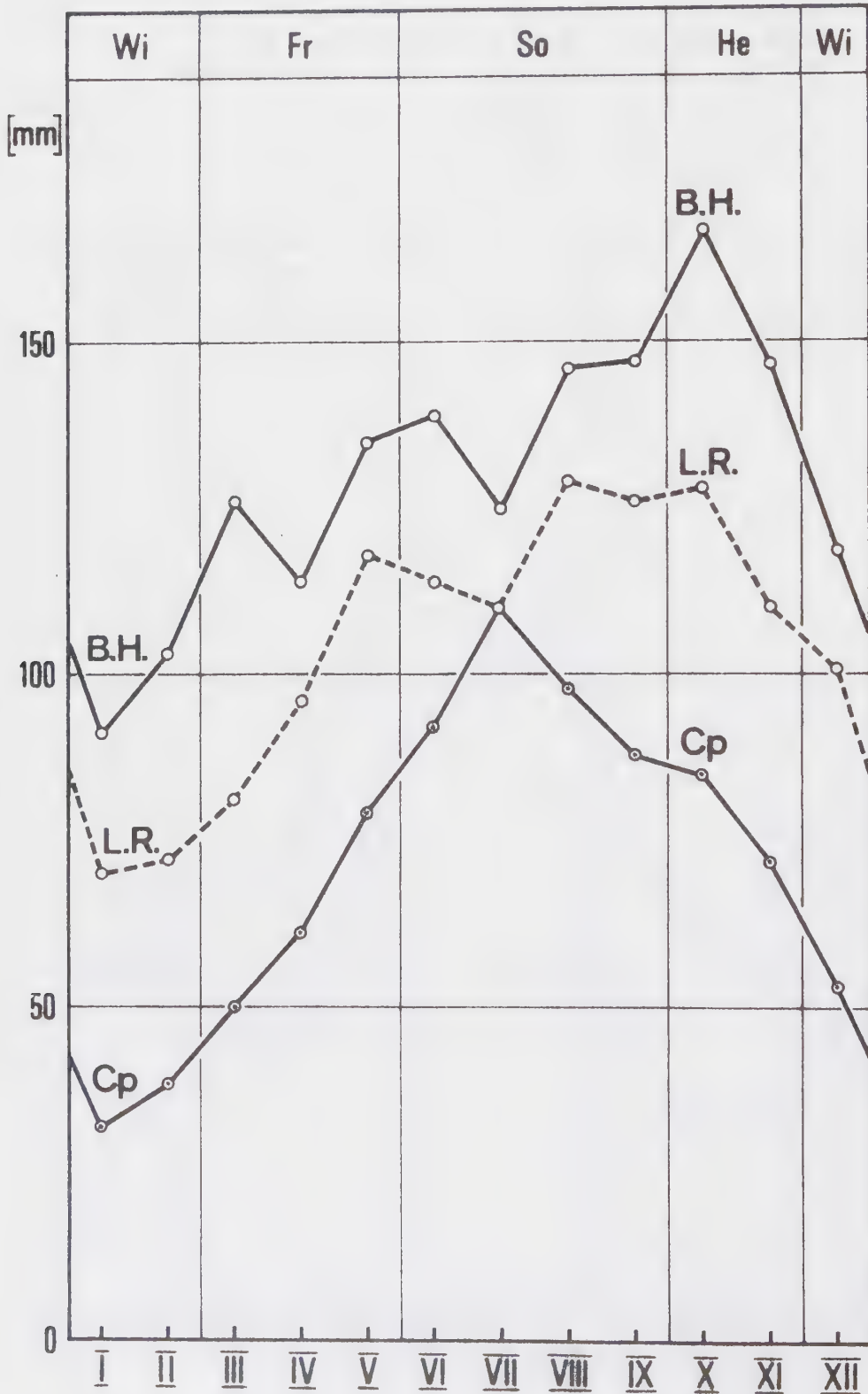


Fig. 12 Das tagesperiodische Talwindsystem des Oberengadins: der Malojawind
Häufigkeit der Stundenmittel in Promille für 12 Windrichtungen und 6 Geschwindigkeitsbereiche
für Sils/Segl-Baselgia, 1802 m ü.M., Messhöhe 3 m über Boden (Band 1/G S. 93).

Pfeile = Richtung der Talachse bei der Station

- a: Nachtverhältnisse (20.30 - 08.30 h)
- b: Nachmittags (11.30 - 17.30 h, Malojawindzeit)

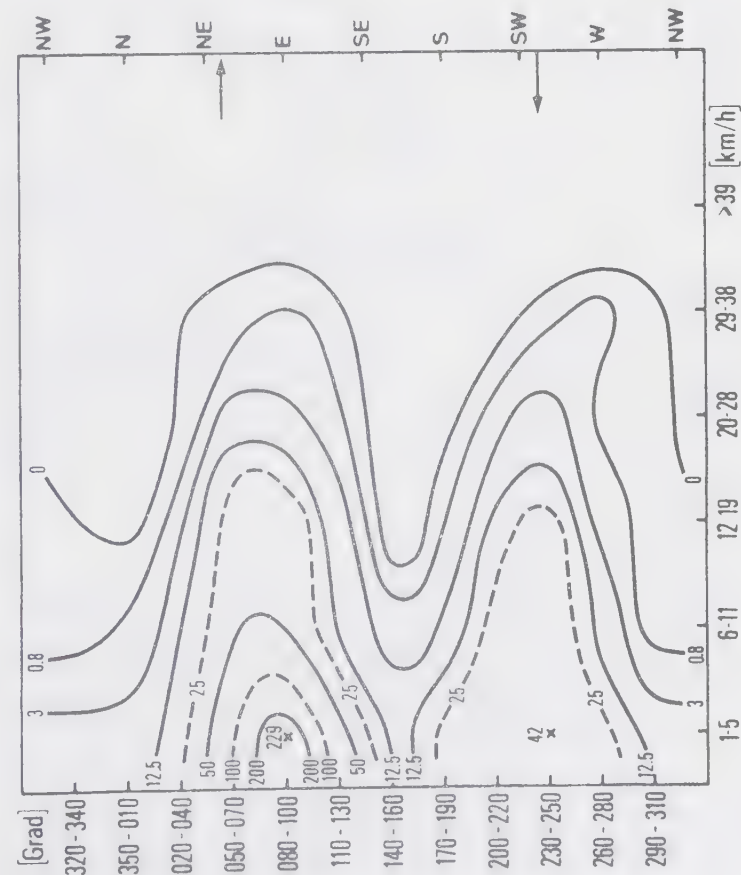


Fig. 12 a

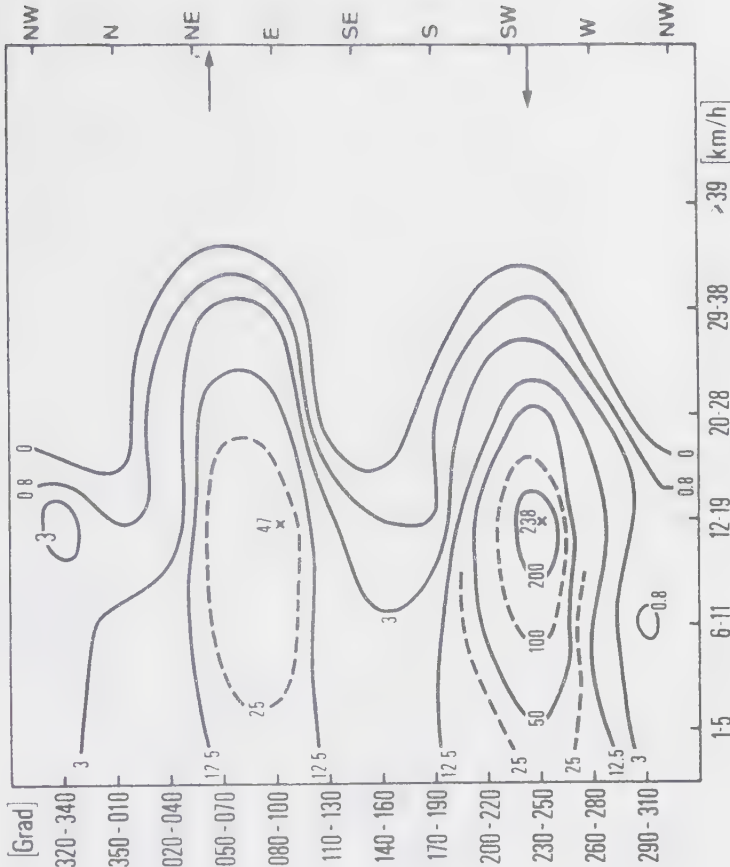
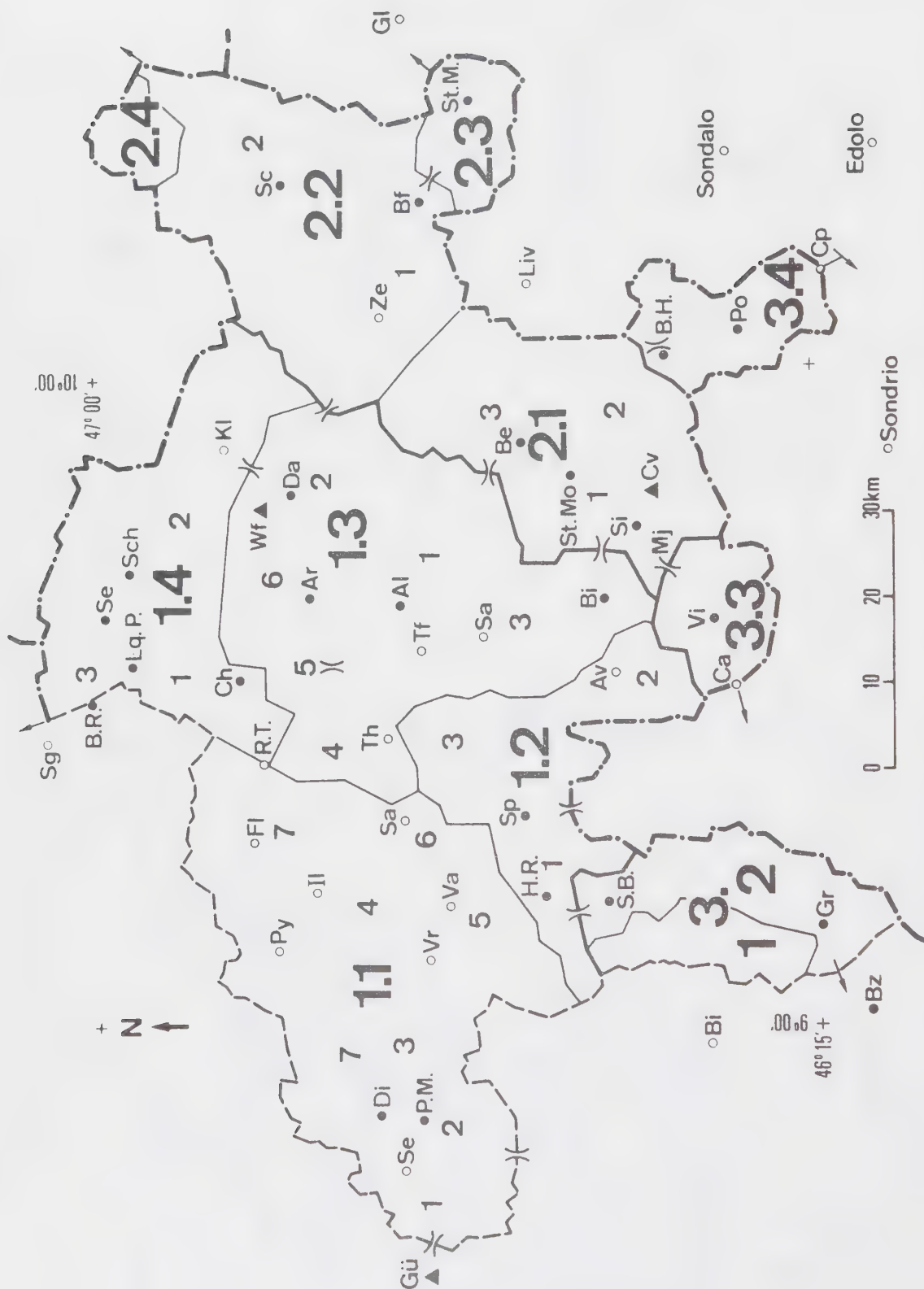


Fig. 12 b



Karte 1 Räumliche Gliederung Graubündens

Erläuterungen auf Seite 113

Erläuterungen zur Karte 1

1. Rheinbünden

1.1 Vorderrhein (Bündner Oberland, Surselva)

- | | | |
|---|--------------------------------|----------------|
| 1 | Oberalp - Tavetsch | (Tujetsch) |
| 2 | Val Medel | (Medelser Tal) |
| 3 | Val Sumvitg | (Somvix) |
| 4 | Lumnezia | (Lugnez) |
| 5 | Valsertal | |
| 6 | Safiental | |
| 7 | Haupttal und linke Seitentäler | |

1.2 Hinterrhein

- | | | |
|---|-----------|----------|
| 1 | Rheinwald | |
| 2 | Avers | |
| 3 | Schams | (Schons) |

1.3 Mittelbünden (Grischun central)

- | | | |
|---|--------------------|-------------|
| 1 | Albula | (Alvra) |
| 2 | Landschaft Davos | |
| 3 | Oberhalbstein | (Sursés) |
| 4 | Domleschg, Imboden | (Tumliasca) |
| 5 | Lenzerheide | (Lai) |
| 6 | Schanfigg | |

1.4 Nordbünden

- | | | |
|---|----------------------|--|
| 1 | Chur und Fünf Dörfer | |
| 2 | Prättigau | |
| 3 | Herrschaft | |

2. Engadin

2.1 Oberengadin (Engiadina'ota)

- | | | |
|---|-----------------------------------|--|
| 1 | Seengebiet | |
| 2 | Berninatäler | |
| 3 | mittleres und unteres Oberengadin | |

2.2 Unterengadin (Engiadina bassa)

- | | | |
|---|------------------------------------|--|
| 1 | Zernezbecken und Ofenpass | |
| 2 | mittleres und unteres Unterengadin | |

2.3 Müstertal (Val Müstair)

2.4 Samnaun

3. Südtäler

- | | | |
|-----|-----------------|--------------|
| 3.1 | Val Calanca | (Calancatal) |
| 3.2 | Valle Mesolcina | (Misox) |
| 3.3 | Val Bregaglia | (Bergell) |
| 3.4 | Val Poschiavo | (Puschlav) |

schwarze Ortssymbole: klimatologische Normal- und Hilfsstationen
weisse Ortssymbole: Stationen des Niederschlagsmessnetzes (Auswahl)

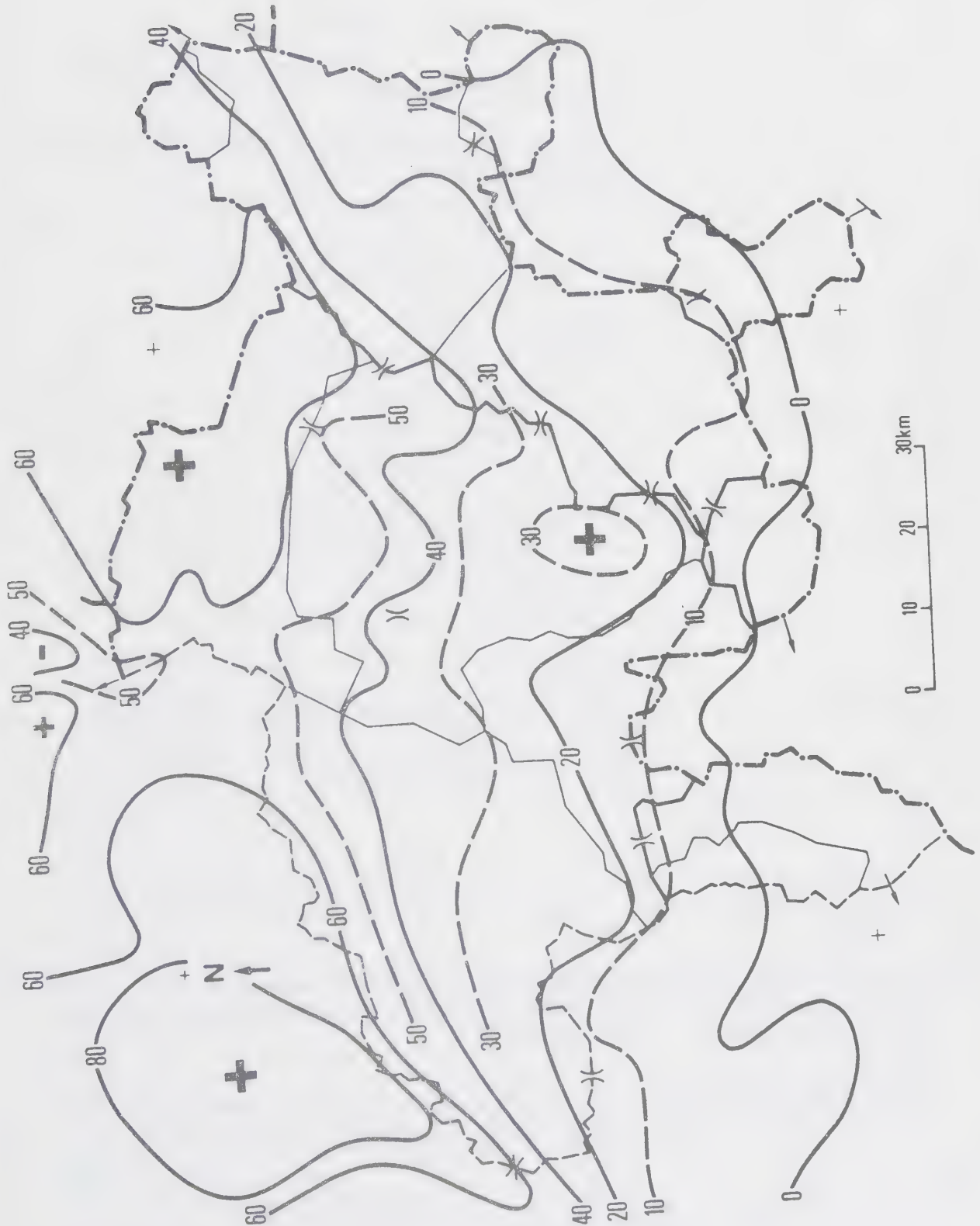
Karte 2 Südstaulage (Föhn im mittleren und nördlichen Kantonsteil)

Richtwerte des Niederschlagstotals in mm von dreitägigen zyklonalen Südstromlagen (starke Höhenwinde aus Süden bis Südwesten über dem Alpenraum), ohne zusätzliche Auswirkung von Gewitterherden.



Karte 3 Nordstaulage (Nordföhn in den Südtälern)

Richtwerte des Niederschlagtotals in mm von dreitägigen zyklonalen Nordstromlagen (starke Höhenwinde aus Nordwesten bis Norden über dem Alpenraum), ohne zusätzliche Auswirkung von Gewitterherden.



L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

=====

Verwendete Abkürzungen

Archiv A und Archiv B	Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Serie A und B
EAFV	Eidg. Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Birmensdorf-Zürich
EISLF	Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos (SLF)
ETHZ	Eidg. Technische Hochschule, Zürich
Geogr. Helv.	Geographica Helvetica
GBG	Gerlands Beiträge zur Geophysik
ITAM	Internationale Tagung für Alpine Meteorologie
MZA	Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt, Zürich
NG GR	Naturforschende Gesellschaft Graubünden
SNG	Schweiz. Naturforschende Gesellschaft
WEW	Wasser- und Energiewirtschaft (Schweiz. Wasserwirtschaftsverband)
WMO	World Meteorological Organisation, Genf
WuL	Wetter und Leben, Zeitschrift für angewandte Meteorologie
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien
Bd 1/C ... N	Band I (Tabellenwerk) der neuen "Klimatologie der Schweiz", Teile C bis N

Ambrosetti Fl. 1976:

Sui venti al sud delle Alpi. Arbeitsber. MZA (6/) 25 S.

Aniol R. 1970:

Heitere Tage - sonnenscheinreiche Tage. Meteorol. Rundschau 23 (5): 144-145.

- 1972: Der Tagesgang des Sommerniederschlages auf dem Hohenpeissenberg.

Meteorol. Rundschau 25 (2): 57-59.

Arquint A. 1953:

Co cha noss vegls sauvaivan. Davart ils vegls indrizs d'assauaziun a Susch. Chalender Ladin für 1954, 44: 56-64.

Bach H. 1907:

Das Klima von Davos. Neue Denkschriften der SNG, 42: 1-105.

Bär O. 1971:

Geographie der Schweiz. Lehrmittelverlag, Zürich 243 S.

Baerlocher B. 1977:

Frostverhältnisse anhand verschiedener Erhebungsmethoden am Beispiel des Gebietsraumes der Schweiz bis 1000 m ü.M. Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Zürich, 128 S.

Bernhard H. 1937:

Chur, Beitrag zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeographie einer Verkehrsstadt. Diss. phil.II Univ. Zürich, 151 S.

Bider M., Thams J.C. 1950:

Die Schwüle meteorologisch betrachtet. SNG Davos 1950: 150-151.

Billwiller R. I 1895:

Untersuchungen über die Beziehungen der Tag- und Nachtwinde der Täler zu den täglichen Luftdruckschwankungen. Annalen MZA für 1893 Anhg. Nr. 5, 11 S.
- 1896: Der Thalwind des Oberengadin. Meteorol. Zeitschrift 13 (4): 129-138.

Billwiller R. II 1904:

Der Bergeller Nordföhn. Annalen MZA für 1902, Anhg. Nr. 6, 57 S.

Binggeli V. 1974:

Hydrologische Studien im zentralen Schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete. Beitr. zur Geologie der Schweiz-Hydrologie 22, 163 S.

Bisig L. 1977:

Untersuchung der Hagelschädenverteilung in der Schweiz. Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Zürich, 174 S.

Braun-Blanquet J. 1969:

Die Pflanzengesellschaften der rätischen Alpen im Rahmen ihrer Gesamtverbreitung. 1.Teil. Bischofsberger, Chur 100 S.

Brockmann-Jerosch H. 1919:

Baumgrenze und Klimacharakter. Rascher, Zürich, 255 S.

Cafilisch Chr. 1939:

Das Domleschg und seine Randgebiete, ein Beitrag zur Wirtschaftsgeographie Mittelbündens. Diss. phil.II Univ. Zürich, 161 S.

Cantù V. 1977:

The climate of Italy. World Survey of Climatology. Elsevier, Amsterdam.
6: 127-183.

Courvoisier H.W., Föhn P. 1975:

Die ausserordentlichen Schneefälle im Winter und Frühling 1974/75.
WEW 67 (11/12): 381-386.

Courvoisier H.W. 1976:

Die Abhängigkeit der Sonnenscheindauer vom kleinräumigen Druckgradienten in den Niederungen bei winterlichen Inversionslagen. Arbeitsber. MZA, 62, 27 S.

Delorenzi C. 1977:

Nordföhn im Tessin. Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Zürich, 50 S.

Dorigo G. 1975:

Trendoberflächen. Geogr. Helv. 30 (1): 17-26

Ermini V. 1961:

I temporali sulle Alpi e sul versante padana. Volo a Vela (Varese), 29: 6-11.

- Federer B. 1971:
Statistik der totalen Schneehöhen und Neuschneemengen in den Schweizer Alpen. EISLF, interner Bericht Nr. 521, 16 S. + 6 Tab., 63 Fig.
- Fliri F. 1964:
Zur Witterungsklimatologie sommerlicher Schneefälle in den Alpen WuL 16 (1-2): 1-11.
- 1970: Die Witterungslagen in Innsbruck. WuL 22 (7-8): 133-150.
- 1975: Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols. Folge I, Wagner, Innsbruck, 454 S.
- Flugi A.V. 1931:
Our da la cronica davart appariziuns da la natüra e disgrazchas in Engadina e contuorns. Chalender Ladin für 1932, 22: 60-74.
- Flütsch E. 1976:
St.Antönien - kulturellandschaftliche Aspekte einer Walsergemeinde.
Diss. phil.II Univ. Zürich, 205 S.
- Fritsch V. und Tauber A.F. 1971:
Meteorologische und geoelektrische Blitzgefährdung. Geofisica e Meteorologia, XX (1-2): 9-14. (Ab 1972 Rivista italiana di Geofisica)
- Furrer G. und Fitze P. 1971:
Die Höhenlage von Solifluktfonnen und der Schneegrenze in Graubünden. Geogr. Helv. 26 (3): 153-159.
- Furrer G. und Freund R. 1974:
Bewässerung im Kanton Graubünden. Geogr. Helv. 29 (4): 153-165.
- Gensler G. 1953:
Hundert Jahre Firnschwund, dargestellt speziell am Beispiel der Berninagruppe. NG GR, 84: 3-15.
- Gerig M.H. 1978:
Untersuchungen über den Malojawind. Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Zürich (in Bearbeitung).
- Gsell R. 1945:
Ueber ältere Klimaforschungen im Churer Rheintal. Jahresber. NG GR 1942/43 und 1943/44, 79: 59-75.
- Guerrini A., Lavagnini A., Vinosi F.M. 1976:
L'insolazione sull'Italia. Istituto Fisica dell'Atmosfera (IFA), SP No 11, Roma, 116 S.
- Gutersohn H. 1961:
Geographie der Schweiz, Bd II, Alpen 1.Teil. Kümmerly & Frey, Bern, 239-460.
- Hauer H. 1950:
Klima und Wetter der Zugspitze. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 16. Bad Kissingen, 200 S.
- Hauser A. 1973:
Bauernregeln, eine schweizerische Sammlung mit Erläuterungen. Artemis, Zürich, 710 S.
- Havlik D. 1969:
Die Höhenstufe maximaler Niederschlagssummen in den Westalpen. Freiburger Geogr. Heft 7, Freiburg i.Br., 76 S.

Henneberger Ch. 1951:

Tagesgang und Komponenten der Abkühlungsgrösse. Archiv V, 2: 89-119, Wien.
(Zusammenfassung der Diss. phil.nat. Univ. Basel, 1950)

Hess C. 1907:

Die Gewitter und Hagelschläge der Schweiz. In: Das Klima der Schweiz
von Maurer J., Billwiller R. und Hess C., Bd 1: Huber, Frauenfeld, 265-302.

Höflin F.G. und Gruber U.F. 1972:

Kälteschäden. Die Alpen, Nov. 1972: 210-215.

Holtmeier F.K. 1969:

Zur Waldgrenze im Oberengadin. "Bündnerwald" 23 (3): 65-94.

Hydrographische Jahrbücher der Schweiz. Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern.

Lauscher F. 1976:

Weltweite Typen der Höhenabhängigkeit des Niederschlags. WuL 28 (2): 80-90.
- 1976: Methoden zur Weltklimatologie der Hydrometeore. Der Anteil des
festen Niederschlages am Gesamtniederschlag. Archiv B 24 (3): 129-176.

Leemann W. 1929:

Zur Landschaftskunde des Tavetsch (Natur, Wirtschaft, Siedlung).
Diss. phil.II Univ. Zürich, 123 S.

Lössli H. 1944:

Der Sprichwortschatz des Engadins. Diss. Univ. Zürich, 299 S.

Lütschg O. 1915:

Der Märjelsee und seine Abflussverhältnisse; eine hydrologische Studie
unter Mitberücksichtigung hydrographischer Erscheinungen in anderen Fluss-
gebieten. Annalen der Schweiz. Landeshydrographie Bd 1, Bern, 358 S.

Melcher D. 1957:

Experimentelle Untersuchung von Vereisungserscheinungen. Zschr. f. Ange-
wandte Mathematik und Physik (ZAMP), 2 (6): 421-443.

Müller F., Caflisch T. und Müller G. 1976:

Firn und Eis der Schweizer Alpen, Gletscherinventar. Geogr. Institut ETH2,
57, Zürich, 74 S + Anhang.

Müller O. 1936:

Das Bündner Münstertal, eine landeskundliche Darstellung Diss. phil.II
Univ. Zürich, 76 S.

Nigg W.H. 1948

Das Schanfigg, eine landschaftskundliche Studie. Diss. phil.II Univ. Zürich,
133 S.

Oswald W. 1931:

Wirtschaft und Siedlung im Rheinwald. Diss. phil.II Univ. Zürich, 163 S.

Page J.K. 1976:

Application of Building Climatology to the Problems of Housing and Building
for Human Settlements. WMO, Technical Note No 150, WMO-No 441, Genf, 64 S.

Peppler W. 1932:

Temperaturunterschiede zwischen der freien Atmosphäre und dem Davoser Hochtale. Beiträge z. Physik der freien Atmosphäre 18 (3): 180-189.

Peppler W., Götz F.W.P. 1931:

Pilotballonvisierungen in Arosa im Winter 1929/30. Beiträge z. Physik der freien Atmosphäre 18 (2): 81-128.

Perret J., Primault B., Strehler H. 1975:

Répertoire des valeurs mensuelles et annuelles des évaporations et températures du sol relevées en Suisse (1951-1974). Arbeitsber. MZA 53, 37 S.

Primault B. 1961:

Nouveaux essais comparatifs de la mesure de l'évaporation. Archiv B 11 (2): 251-268.

- 1962: Du calcul de l'évapotranspiration. Archiv B 12 (1): 124-150.

- 1971: Du rapport entre l'évapotranspiration potentielle et l'évaporation mesurée. Arbeitsber. MZA 9, 9 S.

- 1976: L'évaporation sur des grandes surfaces. Arbeitsber. MZA 64, 23 S.

Primault B., Mäder F., Courvoisier H. 1977:

La sécheresse de 1976 et ses conséquences / Die Dürre 1976 und ihre Auswirkungen. Arbeitsber. MZA 73, 54 S.

Quervain A. de 1903:

Die Hebung der atmosphärischen Isothermen in den Schweizer Alpen und ihre Beziehung zu den Höhengrenzen. GBG 6 (4): 481-533.

Rauh P. 1975:

Die Wetterberichte der MZA, Aufbau, Terminologie und Zeitplan. Arbeitsber. MZA 52, 24 S.

- 1976: Fehlprognose? Geogr. Helv. 31 (1): 39-47.

Richter M. 1978:

Beobachtungen zur winterlichen Temperaturverteilung in den Südalpen unter bes. Berücksichtigung verschiedener Wetterlagen. ITAM 14, Rauris 1976. Arbeiten aus der ZAMG Wien (im Druck).

Roesli H.P. 1974:

Abnahme der horizontalen Sichtweite in der Magadino-Ebene. SNG 153: 122-125.

Schacher F. 1974:

Nebelkarte der Schweiz. Diplomarbeit Geogr. Inst. Univ. Zürich, 61 S.

Schmid H. 1955:

Die Oberengadiner Land- und Alpwirtschaft. Keller, Winterthur (Diss. phil. II Univ. Zürich), 157 S.

Schönbächler M., Zenone E. 1965:

Untersuchung über den Zusammenhang zwischen maximalem Höhenwind und Gewittertätigkeit. Archiv A, 14 (4): 427-440.

Senn U. 1952:

Die Alpwirtschaft der Landschaft Davos. Geogr. Helv. 7 (4): 265-350 (Diss. phil. II Univ. Zürich).

Sevruk B. 1974:

Evaporation losses from containers of Hellmann precipitation gauges.
Hydrological Sciences-Bulletin, 19 (26): 231-236.

SIA, Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein 1970:

Empfehlung für Wärmeschutz im Hochbau, Nr. 180, Zürich

Simmen G. 1949:

Die Puschlaver Alpwirtschaft. Diss. phil.II Univ. Zürich, 131 S.

Spescha A. 1973:

Wind und Wetter. Die meteorologischen Erscheinungen im Wortschatz einer
Bündner Gemeinde (Pigniu/Panix). Diss. phil.I Univ. Zürich. 287 S.

Steinhauser F. 1970:

Die Beziehungen zwischen den Tagesgängen der Bewölkung, der Nebelhäufig-
keit und der Sonnenscheindauer auf den Bergen der Ostalpen. GBG 79 (3):
196-212.

Steinhauser F., Eckel O., Lauscher F. 1960:

Klimatographie von Oesterreich. 2.Lieferung: 137-380.

Steinhäusser H. 1971:

Gebietsverdunstung und Wasserhaushalt in verschiedenen Seehöhen Oesterreichs.
Annalen der Met. (Neue Folge) 5: 215-217.

Töndury G.A. 1946:

Studie zur Volkswirtschaft Graubündens Engadin Press, Samedan 336 S.
- 1952: Die bündnerische Wasserkraftnutzung. WEW 44 (5/6/7): 83-99.

Töndury G.A., Müller R., Casaulta G. 1957:

Hochwasserprobleme im Ober-Engadin. WEW 49 (6): 139-155.

Tollner H. 1952:

Wetter und Klima im Gebiete des Grossglockners. Carinthia II 14.Sonderheft,
Naturwiss. Verein Kärnten, Klagenfurt, 136 S.

Turner H.V., Defila C. 1978:

Windverhältnisse, Baumkronendeformation und Wirkung des Schneegebälges
auf Pru da vent (Berninapass). ITAM 14, Rauris 1976, Arbeiten aus ZAMG Wien
(im Druck).

Urfer-Henneberger Ch. 1972b:

Geländeklimatische Untersuchungen im Dischmatal bei Davos. Studia Geo-
graphica (Brno) 26: 195-215,
- 1978: Temperaturverteilung im Winter in 3 verschiedenen Höhenlagen bei
bestimmten Wetterlagen ITAM 14, Rauris 1976, Arbeiten aus der ZAMG Wien
(im Druck).

Valko P. 1975ff:

Meteoplan-Publikationsreihe, Meteorologische Planungsunterlagen, Bern
und MZA Zürich.

Vorndran G. 1970:

Die Höhe der Schneegrenze in der Silvretta-Gruppe. Mitt. Geogr. Ges. München
55: 155-167.

Wagner M. 1964:

Die Niederschlagsverhältnisse in Baden-Württemberg im Lichte der dynamischen Klimatologie. Forschungen zur Deutschen Landeskunde 135, Bad Godesberg, Textband + Kartenband. 119 S.

Waibel K., Gutermann Th. 1976:

Föhnhäufigkeit und Föhnwarnmöglichkeit im Bodenseegebiet. Arbeitsber. MZA 68, 34 S.

Walser E. 1967:

Niederschlag und Abflussverhältnisse im Engadin. WEW 59, Sonderheft Engadin (6/7): 201-207.

WMO 1965:

Short-period averages for 1951-1960 and provisional average values for Climat Temp and Climat Temp ship stations. WMO No 170, TP. 84, Genf, 320 S.

Zeller J., Geiger H., Röthlisberger G. 1976:

Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Bd 1: Kanton Graubünden. EAFV, Birmensdorf-Zürich, 21 S. und 320 Tab.

Zenone E. 1961:

Il "favonio" nel Ticino. Volo a Vela (Varese) 30: 4-13.

- 1977: Gewitter, absolute und relative Topographien. Arbeitsber. MZA Nr. 71, 14 S.

Gian A. Gensler

Dr.phil.

Schweizerische

Meteorologische Zentralanstalt

Abt. Wetter- und Fernmeldedienste

Krähbühlstr. 58

CH-8044 Zürich

